山西大学
Shanxi University

2010 届硕士学位论文

宋元时期音乐科技史料研究

作者姓名　段晋芳

指导教师　高　兴　教　授

学科专业　音乐学

研究方向　中国音乐史

培养单位　音乐学院

学习年限　2007 年 9 月至 2010 年 6 月

二〇一〇年六月

山西大学

2010 届硕士学位论文

宋元时期音乐科技史料研究

作者姓名　　段晋芳

指导教师　　高　兴　教授

学科专业　　音乐学

研究方向　　中国音乐史

培养单位　　音乐学院

学习年限　　2007 年 9 月至 2010 年 6 月

二〇一〇年六月

Thesis for Master' s degree, Shanxi University, 2010

Historical Materials of Music Technology in Song and Yuan

Student Name	Jinfang Duan
Supervisor	Prof. Gaoxing
Major	Musicology
Specialty	Music History of China
Department	Conservatory of Music
Research Duration	2007.09-2010.06

June, 2010

目 录

中文摘要……I
ABSTRACT……II
引 言……1
第一章 宋元时期音乐科技发展的社会基础……2
1.1 音乐科技的含义及其研究领域……2
1.1.1 音乐声学……2
1.1.2 音乐数学……3
1.1.3 音乐力学……4
1.1.4 音乐自然科学思维……4
1.1.5 乐器工艺学……5
1.2 宋元时期的科学技术及其对音乐艺术发展的影响……5
1.2.1 宋元科技发展的社会背景……6
1.2.2 宋元时期的科学技术成果……6
第二章 宋元时期音乐科技文献史料……11
2.1《宋史》中的音乐科技史料……11
2.2《元史》中的音乐科技史料……21
2.3《梦溪笔谈》中的音乐科技史料……28
2.4《洞天清录》中的音乐科技史料……34
2.5《乐书》中的音乐科技史料……38
2.6《词源》等其他著作中的音乐科技史料……41
第三章 宋元时期音乐科技主要成果……47
3.1 音乐声学……47
3.1.1 乐器声学……47
3.1.2 歌唱声学……53
3.1.3 空间声学……54
3.2 音乐自然科学思维……55
3.2.1 朴素的唯物主义思想……56
3.2.2 求实的研究观念……57
3.3 乐器工艺学……58
3.3.1 材料的选择……58

3.3.2 材料加工工艺......60
3.4 音乐数学......61
3.5 音乐力学......62
结 语......64
参考文献......66
附 录......68
攻读学位期间取得的研究成果......69
致 谢......70
个人简况及联系方式......71
承诺书......72
学位论文使用授权声明......73

Contents

Chinese Abstract I

Abstract II

Introduction 1

Chapter1 Song and Yuan Dynasties social basis for the development of music technology 2

1.1 The meaning of music technology and research areas 2

1.1.1 Music Acoustics 2

1.1.2 Music math 3

1.1.3 Music mechanics 4

1.1.4 Music Natural Thinking 4

1.1.5 Musical Instruments Technology 5

1.2 Science and technology during the Song and its impact on music and arts development 5

1.2.1 The social background of the Song and Yuan Technology Development 6

1.2.2 Scientific and technological achievements in Song and yuan 6

Chapter 2 Music Technology historical documents in song and yuan 11

2.1 Music Technology Materials in 《Song History》 11

2.2 Music Technology Materials in 《Yuan History》 21

2.3 Music Technology Materials in 《Meng Xi Bi Tan》 28

2.4 Music Technology Materials in 《Cave clear record》 34

2.5 Music Technology Materials in 《Music Book》 38

2.6 Music Technology Materials in 《Etymology》 and other historical writings 41

Chapter 3 Music Technology major achievements in song and yuan 47

3.1 Music Acoustics 47

3.1.1 Musical Instruments Acoustics 47

3.1.2 Singing Acoustics 53

3.1.3 Room Acoustics 54

3.2 Music Natural Thinking 55

3.2.1 Simple materialism thinking 56

3.2.2 The concept of truth of thinking 57

3.3 Musical Instruments Technology 58
3.3.1 Choice of materials 58
3.3.2 Materials Processing 60
3.4 Music math 61
3.5 Music mechanics 62
Conclusion 64
References 66
Appendix 68
Research achievements 69
Acknowledgment 70
Personal profiles 71
Letter of commitment 72
Authorization statement. 73

中 文 摘 要

中国古代文化中孕育着中国古代科学技术，而音乐艺术也是古代文化的一部分，从音乐艺术的角度去挖掘其中的科学技术成分，是我们研究音乐艺术和科学技术的新角度，那么就必须对中国古代文化中有关音乐艺术和科学技术的文献史料进行深入细致的分析和整理，以期发现两者之间的互动关系。本文将以宋元时期古代文化中收集到的音乐科技史料为研究的对象，采用文献学等多种研究方法，对宋元时期音乐科技史料作综合的分析和整体的研究。

我国古代的科学技术一度遥遥领先于世界，纵观科学技术的发展，宋元时期的科学技术是继春秋战国、三国两晋南北朝的又一个发展高峰，众所周知的四大发明：造纸术、印刷术、火药、指南针，其中后三项就发明在宋代，并在宋元时期都得到了很好的实践运用。本文试对宋元时期科学技术的发展对音乐艺术的影响作用进行考察。

本文包括三个部分:第一部分是本文的铺垫部分，首先对音乐科技的含义及其研究的各领域做详细的阐述，其次对宋元时期在科学技术上取得的成果进行概述。第二部分是骨干部分，笔者从宋元时期的各类书籍中尽可能多而全的收集史料，并对史料进行了分类整理，力求更好的论述宋元时期音乐艺术和科学技术的关系，为后文做好准备工作。第三部分是本文的重点，通过对第二部分史料进行较充分细致的梳理和分类，结合宋元音乐文化的转型特点，从音乐声学、音乐数学、音乐自然科学思维、乐器工艺学、音乐力学方面进行分类研究，力图窥探宋元时期音乐科技发展的高度。本文的最后为结语部分，通过对前三部分的论述和探讨，进一步的挖掘宋元音乐艺术和科学技术的内在关系，得出音乐科技这门学科的研究价值和前景。

关键词：宋元时期；　音乐科技；　文献史料

ABSTRACT

Ancient Chinese culture breeds of ancient China, ancient music is part of the culture, From the perspective of music to tap one of the science and technology components, we study music and science and technology, new perspective, Then it must be the generation of Chinese culture to the music arts and science and technology literature in-depth and detailed analysis and sorting, in order to find the interaction between the two. This will be the ancient culture from the Song and Yuan Dynasties music technology to collect historical data for the study of objects, using literature study and other research methods, historical data on the Song and Yuan Dynasties music technology for comprehensive analysis and research.

Science and technology in ancient China was once far ahead in the world, look at the development of science and technology, science and technology during the Song and Yuan, following the Spring and Autumn, lacquer wares another development, the peak, known as the four great inventions: paper, printing , gunpowder, the compass, after which three invented in the Song, and Song and Yuan Dynasties have been good practical application. This paper tries to develop science and technology in Song on the impact of the role of music study.

This article consists of three parts: the first is the bedding section of this article, first, the meaning of music technology and the study included a detailed description of each area, followed by the Song and Yuan period on the achievements in science and technology overview. The second part is the key part, the author of various books from the Song and Yuan Dynasties in the collection as much as possible and all historical data and historical data is classified and sorted, and strive to better discussed in Song and music and science and technology relations, working paper prepared for the post. The third part is the focus of this article, the second part of the historical data on a more fully detailed in the carding and classification, combined with the transformation of Song features music culture, from music acoustics, music,

mathematics, music, mechanics, music, scientific thinking, and musical instrument manufacturing aspect classification, trying to pry into the Song and Yuan Technology Development during the height of music. This article ends with a concluding section, through the first three parts of the discussion and exploration into the layer of the excavation Song music and science and technology inherent in the relationship, Music technology is obtained subject of value and prospects.

Key words: Song and Yuan Dynasties; Music Technology; historical documents

引 言

在长期的中华文明的进程中，促进中国古代音乐发展的因素很多，有经济基础、哲学思想、音乐制度，音乐交流等。在这些因素中，有一个因素对其起着重要的作用，一直未受到重视，那就是科学技术的发展。科学技术和音乐艺术的发展一直以来都紧密的联结在一起，关系表现的纷繁复杂。一方面科学技术的发展促进了音乐艺术的进步，使音乐艺术不论在形式上还是在内容上都有了极大的提高，包括音乐的思维、音乐的结构、音乐的音响、乐器的工艺技术、乐器的声学原理等；另一方面，音乐艺术也在侧面反映、孕育着科学技术的进步。

人文科学和自然科学是组成音乐艺术的两大重要的因素，他们对音乐艺术的发展都起着重要作用。我们把自然科学的理论与技术在音乐艺术中的运用称之为音乐科技，其中中国古代音乐科技史是这一学科的一部分，是中国古代音乐史和古代科学技术史交叉的综合性学科。这是音乐艺术研究中的一个新的学术领域，也是本文研究的理论基础。

音乐科技研究的主要内容大致包括音乐自然科学思维、音乐声学、音乐数学、音乐力学、乐器工艺学等内容。在古代，音乐科技有关资料的记载保存在古代遗留下来的经典文献之中。本文试从收集到的宋元时期的音乐科技史料中，探讨宋元时期我国音乐科技的发展状况与主要成果，以期说明音乐科技对当时音乐艺术发展的促进作用。

第一章 宋元时期音乐科技发展的社会基础

1.1 音乐科技的含义及其研究领域

音乐科技，即是音乐艺术的课题，也是科学技术的课题，是一门音乐艺术与自然科学交叉的边缘性学科。我们把自然科学的理论，即物理学的相关理论、数学的相关理论、科学思想史的相关理论等在音乐艺术中的运用称之为音乐科技，其研究的领域有：音乐声学、音乐数学、音乐力学、音乐自然科学思维、乐器工艺学等。

1.1.1 音乐声学

“声学”一词，首见于公元十一世纪的北宋时期，沈括《梦溪笔谈》卷六《乐律二》中，在谈及磬弦的泛音共振时说：“此乃声学至要妙处也。今人不知此理，故不能天地至和之声。”可见“声学”原本产生于肥沃的音乐土壤之中。

“音乐声学”亦称为“音乐音响学”，侧重研究与音乐所运用的声音有关的各种物理现象，是音乐学的分支学科之一[①]。是物理学中声学的理论与技术在音乐艺术中的运用和体现。主要包括乐器声学、空间音乐声学、歌唱声学等方面。

在乐器声学中，一切声音的产生都有它产生的物理基础，音乐中的声音也不例外。早在我国的西周时期就记载了弦、管、膜、板、壳五类不同振动体的乐器。春秋战国时期的工艺百科全书《考工记》中第一次提出了“振动”一词，详细记述了影响壳振动的诸多因素，“薄厚之所振动，清浊之所由出”、“钟大而声短，发声急促，容易衰减；钟小而长，发声舒缓，钟声悠扬长久”，直接的指出钟的厚薄、大小与钟的音调有直接的关系，表明古人已初步掌握了壳体振动的规律。但由于制钟技术的失传，导致在宋代发生了一场关于编钟形状的大争论，这场争论把壳振动的理论再次推到新的高度。

琴瑟等弦乐器在古代的乐器中占有重要的地位，我国古代弦乐器的种类繁多，有古琴、琵琶、箜篌、阮等。每种乐器中又下属诸多的品种，如古琴就有一弦琴、三弦琴、五弦琴、七弦琴等，古代人并没有振动频率的概念，即音的高低与弦的长短成反比。但从我们现存的古籍和出土文物看，古人已有许多探索和认识，如瑟，蔡邕《月令章句》曰：“前其柱则清，却其柱则浊”。《宋史·乐志》记载“丝有弦柱缓急不齐”等。在管振动上，《乐书要录》卷五记载“凡管长则声浊，短则清”，“箫长则浊，短则清”。这些都说明古人对管的长短对管发声音调影响方面的认识。

“共振”这种现象是“系统受外界激励，作强迫振动时，若外界激励的频率

---

① 韩宝强. 音的历程—现代音乐声学导论. 北京，中国文联出版社，2003，序1

接近于系统频率时，强迫振动的振幅可能达到非常大的值[①]”。由共振现象产生的声音变化成为“共鸣”，在日常的生活中就有很多共振现象的发生，如在琴房对着钢琴唱歌时，钢琴会发出“嗡嗡”的声音。乐器的共鸣箱，就起着一种共振的作用。共振的作用是使共鸣体在接受到振动体的能量后，迅速的把能量向周围扩散，使得原振动体的能量发挥到最大的值，所以“声音就变大了”。古人也意识到了共振的现象，主要是利用共振解决了乐器调音的问题，先秦时期人们发现了“均钟木”的弦线式音高校准器，其运用的方法是弹拨弦时，观察钟是否有振动并发出声响。宋代的沈括第一次以实验的方式演示了共振现象。

在建筑声学中，如在戏台的下面挖洞放瓮，让其发生共鸣，起到扩大混响的作用。在歌唱声学中，古人科学的运用气息，以增大胸腔和口腔的共鸣，对此都有所研究，唐段安洁《乐府杂录》说：“善歌者必先调其气，氤氲自脐间出，制喉乃噫其词，而分抗坠之音，即得其术，即可致遏云响鼓之妙也。”提出了用气的技巧，气出脐间，使声音形成管道，最后达到“遏云响鼓之妙”。

1.1.2 音乐数学

数学的逻辑数理在音乐艺术中的运用。主要体现在音乐律学中律制的推理。我国从古到今，音乐和数学始终结合在一块，数学存在于音乐中，音乐反映出数理的逻辑，这就是两者之间的辩证关系[②]。

律学从一开始就以严密而又缜密的数据体现着“律本于数”的观点。“律学”它是从发声体振动规律出发研究乐音数理关系的科学。是研究律制构成与应用的科学[③]，是以自成乐学体系的成组乐音为对象，从发音体振动的自然规律出发，取“音响学”的角度，运用数学方法来研究乐音相互之间的关系[④]。

我国古代为了算出准确的音高数值(即律数)，采用数学的运算方法。最早见于《管子·地员篇》，详细记录了五音与律数的比例，而且总结了五音之间音程的内在的关系，首次揭示了音乐学中数学的计算规律。在以后乐律的计算中仍然以三分损益的方法为主，汉至南北朝时期，京房利用三分损益法把十二律推算到了六十律，更有南北朝时期的钱乐之将其推算到三百六十律，这些数学理论的计算，把音差值大为的缩小。何承天在三分损益法的基础上将第十三律与第一律之差平分为 12 等分，依次递加在各律之上，在实践上解决了旋宫转调的问题，是世界律学史上向十二平

[①] http://baike.baidu.com/view/74730.htm?fr=ala0_1_1.
[②] 童忠良 王忠人 王斌清. 音乐与数学.北京,人民音乐出版社,1993. 162.
[③] 中国大百科全书·音乐舞蹈卷. 中国大百科全书出版社,1986. “律学”条目.
[④] 中国艺术研究院音乐研究所编. 中国音乐词典,北京人民音乐出版社, 1985. “乐律学”条目.

均律探索的重要成果。明朱载堉是闻名世界的数学家、乐律学家，他用等比数列作为平均律的计算原理，首先提出了十二平均律，真正从理论上解决了旋宫转调的问题。数学的发展直接关系到律学计算的精确度，及其发展的程度。正是由于我国数学史的不断发展，才能使律学出现开创性的成果。

1.1.3 音乐力学

物理学中力学理论与技术在音乐艺术中的运用。体现在乐器的制造及演奏技术。古代中国的力学，经验和工艺总结要多于推理和数学归纳[①]。力学属于物理学的范畴，有关音乐力学主要涉及力学领域的重心和平衡、动力学、材料力学的相关知识。

在人们的日常生活和实践中，重力和平衡对我们起着重大的作用。在音乐领域中，主要是金石类乐器的穿孔位置及悬挂方式上。石磬是我国特有的乐器，《考工记》中记述了磬的形状和规范。古人虽没有重心的概念，但从出土的磬看，古人穿孔的位置是在重心的上面，顶点与重心连线的近旁。出于对演奏实践和石磬音质的考虑，没有把悬孔和重心重合在一起，可知古人已知道磬重心的求取。

在古代，动力学还没有形成具体的概念，但对其有小范围的认识。在音乐的具体演奏技巧方面，作用力对音乐感情的表达，对乐器声音的高低都有重要的指导作用。如在演奏拉弦乐器时，弓对弦的作用力大小，直接影响弦的音量的大小和刚柔。成玉涧《琴论》说“指法遒劲则失于太过，懦弱则失之不及”就说明了这一点。管乐器中吹管的力度，拨弦乐器中拨弦的力度都同样涉及到作用力的问题。

中国古代的材料力学知识基本上属于经验的积累，未形成系统的理论[②]。材料力学是研究材料在各种外力作用下产生的应变、应力、强度、刚度和导致各种材料破坏的极限。音乐中的材料力学是研究乐器的材料在外力的作用下产生不同形变时对乐器所发声音的音高、音色、音强和音长的影响。如弦乐器的调音便是利用了弦有一定的弹性，弦的张力与其音调的高低成正比。弦调的越紧张力越大，音调越高，反之亦然。在具体的音乐实践中演奏者可通过改变对弦的作用力，实现瞬间改变弦的张力，来实现控制音的强弱，达到最好的音色。

1.1.4 音乐自然科学思维

音乐自然科学思维是自然科学思维方法及理论对音乐艺术的影响。科学思想是科学产生、发展的思想依据和思想方法，也包括科学成果所蕴含的思想精粹[③]。表现在音乐中即是科学的逻辑思维方式对音乐思维方式的影响，对音乐中存在的问题的

① 戴念祖 老亮.中国物理学史大系·力学史.长沙，湖南教育出版社,2000，前言 1
② 戴念祖. 中国物理学史大系·声学史. 长沙，湖南教育出版社,2000, 348
③ 陈玲. 中国古代科技鼎盛时期的前朝积淀. 自然辨证法通讯, 2008,1 p81

解决，也包括在音乐科学成果中的所蕴含的思想。在先秦时期古人就有各种音乐的自然观，西周时期的阴阳音律观，以五音、十二律配于四时、五行、十二月，以此来解释音乐本源的问题，史伯的五行音乐观、子产的六气五行礼乐观、医和的六气音乐观。《吕氏春秋·仲夏纪·大乐》记载："音乐之所由来者远矣，生于度量，本于太一，太一出两仪，两仪生阴阳，阴阳变化，合而成章。"体现了用阴阳观来解释乐器的制造。古代人认为人也和自然万物一样都是"气"，都需要进行宣发和节制的，而音乐就被认为是实现的途径之一，《吕氏春秋·仲夏纪·古乐篇》记载：昔古朱襄氏之治天下也，多风儿阳气蓄积，万物散解，果实不成，故士达作为五弦瑟，以来阴气，以定群生。"这是说古人对用音乐宣泄阴阳之气早有认识。

秦汉时期 "天人合一"的思想方式对我国古代音乐也具有影响，"天人合一"认为天地万物都是由"天"主宰的，这就激起了人们对宇宙的探索，成为古代音乐家解释音乐的基本思维模式。古代的天文学与音乐有密切的关系，如果抛开天文学，那么音乐中的许多现象和概念都无法解释，如十二律学的名称、随月用律的思维等。中国古代灿烂的音乐文化的发展与发达的哲学认识论及自然科学精神有着内在的联系，对音乐的发展起着重要的作用。

1.1.5 乐器工艺学

乐器的工艺制造对乐器音质、音色等都有很大的影响。所以这是一门科学技术含量要求很高的学科，它的发展与科学技术的发展紧密的联系在一起。首先表现在材料的选择方面，科学的选择"材料"在乐器制造中起着关键性的作用。中国传统的乐器古琴，在其琴体材料的选择上就极为的讲究，选择哪种树木作为琴材，以及琴材的纹理，干湿，阴阳面都对琴发出的声音影响很大。在其他乐器也是如此，乐工在做每种乐器时都先据音品来选择材料，并知道了材料中的杂质对乐器音效的影响。我国春秋时期的工艺百科全书《考工记》就记载了合金的配比工艺和青铜的冶炼的技术，这些工艺的发展对当时钟类乐器的制造，都有直接的关系。到秦汉时期，我国的漆器工艺有了进一步的发展，使得乐器的外表更加的美观，对以后历代乐器工艺的发展有了很好的铺垫作用。乐器是音乐表演的重要的物质组成部分，它的发展直接反映着科学技术的发展。

1.2 宋元时期的科学技术及其对音乐艺术发展的影响

公元 960 年，宋太祖赵匡胤推翻后周，建立宋朝，结束了五代十国历史几十年的封建割据局面，这就是历史上所谓的北宋。1127 年，汴京（今河南开封）被金人攻破，

宋王室迁向东南，并建都临安（今浙江杭州），建立起了南宋王朝。宋朝曾分别与建立在我国北方的辽、西夏、金政权同时并立，虽然他们之间进行频繁的战争，但在战争得间歇时期，也出现相对稳定的时期。社会生产得以恢复和发展，科学技术也得到了发展。元朝在灭亡南宋后，较宋代的经济又了更好的发展。

1.2.1 宋元科技发展的社会背景

宋元时期是我国科学技术发展的一个高峰时期，在这个时期出现了一大批影响深远的科学家，而这些科学家在数学，天文学，冶金技术，医药学等各个领域里都做出了不可磨灭的贡献，取得了累累的硕果，改变世界的四大发明，其中之三都出现在了这个时期，已经说明了这个时期的科技发展之盛，然而细细说来，之所以宋元时期的科技发展能取得举世瞩目的成就则是诸多因素同时促进的结果。

不可否认中国古代的科学技术一直领先于世界，著名的科学史学家李约瑟在他的专著《中国科学技术史》中说道："中国的这些发明和发现往往远远超过同时代的欧洲，特别是在十五世纪之前更是如此[①]。"所以前朝几百年尤其是隋唐时期的文化积淀是非常重要的原因，可以说在技术上，宋代把唐代所设想的许多东西都变成为现实。宋元社会生产关系的调整为科学技术的发展做了必要的准备，北宋统一中国后，社会经济关系发生了变化，表现在土地占有方式上由世袭占田制度转变为购买方式的占田制度；地主对农民的剥削方式上，由劳役地租变为了实物地租。这就大大提高了农民的生产积极性，促进了生产力的发展，为科技的发展做了必要的准备。

宋元时期中国版图几经变换，终于在元时到达了鼎盛，国土的幅员辽阔带来的是各民族之间的大融合，使民族间的交流成为可能，而海外贸易的发展加强了与外来科技的交流，这些都为促进当时科技文化的发展带来了额外的发展条件。各个门类都在此基础上得到的了交流，据《宋会要》记载当时进口的商品就有 300 多种，品种和门类众多，有纺织品、药品、乐器等等。对音乐科技的交流起到了推动的作用。宋代的政府非常重视科学技术的发明，对发明成果有创新的人实行奖励机制，受到奖励的形式多种多样，有赐衣物、增月俸、受赞扬等。由于创新程度的不同，奖励部门的级别也不同，有上至皇帝、下到州县等。政府也特别重视科技文化书籍的编撰工作，元延佑二年刊印《农桑辑要》达万部，可谓盛况空前。政府对民间科技人员采取鼓励和吸收的政策，这使得民间科技人员的积极性增高。所以说宋元时期上层阶级对科学技术的重视为科学技术的发展起到了保障作用。

1.2.2 宋元时期的科学技术成果

[①] 李约瑟 .中国科学技术史·.第一卷·导论.上海，科学出版社，上海古籍出版社,1990, 138

在中国古代科学技术发展中，宋元时期可以说是在前代科技成果上的“延伸期”，也是科技成果取得灿烂辉煌的时期。代表中国古代科学技术的四大发明，就有三大发明（火药、指南针、印刷术）在宋元时期得到很好的突破和实际运用，由此可想其对音乐的发展也非同一般。

1、数学

在宋元时期科学技术的发展中，数学的发展较为突出。在许多方面都取得了灿烂辉煌的成就，可以说宋元时期的数学,代表了中国古典数学的最高成就[①]。宋元时期，已经掌握了高次幂的开方法，天元术正是为解决列方程问题的一项突出成就，天元术的出现，解决了一元高次方程式列方程的问题，朱世杰《四元玉鉴》还把天元术发展到了四元术。宋元时期高阶等差级数，从北宋沈括的“隙积术”后有了更为丰富的研究。朱世杰在对垛积招差问题做了系统而详细的研究，得到了关于高次招差的一般公式，这在中国数学史和世界数学史上都是首创。秦韶九在其《数学九章》中第一次对历法中关于“上元积年”的数据进行了介绍并把它推广到数学问题中。

2、天文学

宋元时期是天文学发展的高峰，在恒星观测上，宋代其精确度比以前有较大的提高，到元代时，科学家郭守敬经过精密的计算，制定了《授时历》。比宋代的精确度提高了一倍。在天象观测上，宋代有对于新星和超新星的记录。这些成果与当时天文仪器的发明改进有很大的关系。我国古代的天文仪器到宋元时期达到了最好的水平，燕肃在漏壶中首次使用了漫流系统大大提高了漏壶计量时间的准确度。元代的“五轮沙漏”，用沙代替水，避免温度变化对水流量的影响。对漏壶的理论与技术的研究，使时间计量的精度达到了前所未有的程度。圭表侧影的技术，也有了很大的进步，改善了表端副影影响读数精度的问题。仪器的制造和天文观测的进行，都为历法的制定创造了条件。北宋观天象用的浑仪，在前后 100 年间先后制造六架，用铜约十吨，为提高精度和减少制作和使用的麻烦，沈括简化设计和制作浑仪，到元代，郭守敬创造性的设计和制造了简仪。这一时期的又一杰作是水运仪象台，通过一系列的齿轮与枢纽轴相连，在漏壶流水的推动下，使仪器的运作保持恒速，这种仪器既能演示、观测天象，又能计时、报时。

3、工业技术

[①] 刘洪涛. 中国古代科技史. 天津,南开大学出版社.1991, 585

在冶金方面，宋代建国后有色金属矿和黑色金属矿的开采都有了长足发展[①]。据统计北宋建国后50年间铜产量较前增加3倍，锡、金各增加一倍，矿工人数达十万之多，而且日夜开采。这些都说明宋代冶金行业的繁荣景象。冶金的技术在宋元时期也有突出的发展，如，炼银有“吹灰法”，炼铜有“胆铜法”，炼铁有强化炼铁炉的生产，以木风扇提高产量。灌钢技术在宋代有了进一步的改善，沈括《梦溪笔谈》记载灌钢：“用柔钢屈盘之，一生铁陷期间，泥封炼之，锻令相入……二三炼则生铁自熟，乃是柔钢。”这样就是碳的分布变均匀，可得到高硬度的钢，这就是柔钢。

宋元瓷器在工艺技术上达到了新的水平，可以称为是我国的第五大发明。到目前为止已有一百多个县市发现宋瓷的瓷窑遗址，可看出宋代瓷业的发达和普及。宋代形成了有影响的八大窑系：北方的定窑、磁州窑、均窑、耀窑，南方的景德镇窑、越窑、龙泉窑和建窑。元代的湖田窑、福建德化窑。宋元瓷器制造技术的成就，为我国瓷器的发展史写了辉煌的一笔。

在唐代基础上宋代雕版印刷业更加发达，趋于鼎盛。宋刻本技术优良，字体方整，刀法圆润，纸墨装潢都称上乘。在雕版术达到高峰之际，宋代印刷又出现另一项发明。据沈括《梦溪笔谈》记载，宋庆历朝毕昇创造活字印刷术，与现代铅字排印具有同一原理，它既能节省费用，又能节省时间，成本较低，大大提高了工作的效率。元代王祯创制木活字，还创造了转轮排字架，将活字按韵放在架上，每韵每字都依次编好号码，登录成册。在元代，除泥活字、木活字外，还有不少人用锡等金属材料的活字，与雕版印刷同时并行。毕昇发明的活字印刷术，不仅对我国乃至世界的影响都十分深远。欧洲直到400年后才出现了活字印刷技术。

4、海运

指南针技术的发展促进了航海事业的发展。早在战国时期，就开始利用磁石做成一种指南工具“司南”。到宋代人们对于人工磁化指针方法和指针的装置方法的两个关键问题都已顺利解决。对于人工磁化的方法沈括《梦溪笔谈》记载：“方家以磁石摩针锋，则能指南。”这是一种理顺天然磁石的磁场内部排列，让钢针显示出磁性的方法。关于磁针的装置方法，沈括认为最好的方案是“其法取新纡与独茧缕，以芥子许蜡缀于针腰，无风处悬之，则针常指南”。指南针发明后，很快被应用于航海上，到了元代，指南针在航海中的作用更加显著。

宋元时期政府都注重海外贸易的发展，据史料记载，宋高宗时收入达到二百万贯，超过北宋年收入最高额的二倍多。由于在航海上有指南针辩方向，有造船技术的保障，

[①] 吴文俊. 中国数学史大系·第五卷·两宋. 北京，北京师范大学出版社,2000. 10

两宋时期中国商船的船只空前增多。宋元时期，在我国航海事业的发展中还开辟了许多新的航线，这为文化科技的交流提供了条件。

5、火药

火药是中国的四大发明之一，到宋代火药的技术已经提高到了新的阶段，各种化学成分之间的配比趋于定量化。并在实践中得到了很好的运用，曾公亮《武经总要》载有三种火药的配方，配方的比例接近于近代黑火药的配方。史书中有对火炮的记载，北宋末年在抗金战争中发明了“霹雳炮”、“震天雷”等杀伤了较大的火炮。

宋元时期的兵器种类繁多，有枪、大刀、钩杆、剑、斧、弓箭等。值得指出的是在兵器的制造和冶金方面的一项重要的成就——冷锻的“瘊子甲”，“冷锻之，比元厚三分之减二乃成”，“三分减二”是符合冷锻加工规律的，这时的强度性能好，锻出的甲“强弩射之不能入”。

6、医药

宋元时期，中国医药学获得全面发展，宋元政府重视医药书籍的修订，如修撰《开宝本草》、《嘉佑本草》、《新修本草》等。宋元时期的中医分科在唐代四科的基础上增加到了九科，到元代增加到十三科，表现的愈来愈精细。出现了我国历史上第一部法医学著作——《洗冤录》。针灸上也有了较大的发展，王惟一设计和监制了最早的两具针灸铜人，铜人造型逼真，在针灸教学上发挥了很大的作用。

7、农学

宋元时期，农业生产和技术的发展到了一个新的水平。在土地的开垦利用上已有了一整套的方法，力争扩大土地面积，一是与水争田；二是变山为田。在农作物的生产上，当时的水稻生产位于第一位，并且已开始引进新的品种。宋元时期，出现了农学方面的系统专著，陈敷《农书》第一次系统对农业生产技术的经验进行了总结，并系统的论述了土地利用，指出维持提高地力的主要方法。

可以看出，宋元时期科学技术在各个学科都有突飞猛进的发展，这些都直接或间接的影响和促进音乐艺术的发展。主要表现在，数学的进步促进了当时律学计算方法向更精确的方向演进，对乐器的测量方面也更加的精准。天文领域，天文仪器的改良和发明使人们对闪烁的星空有了更多理性方面的认识，为更加科学的划分节气提供了条件，对天文方面在探索的过程中出现的如“气论”“阴阳五行观”等朴素的唯物主义思想导致了音乐中科学思维方式的出现。工业技术取得的巨大的成就对乐器制造的影响也是不容忽视的，采矿业技术的改进和采矿技术的发达，新的冶金技术和工艺的出现等对乐器的改良、新乐器的制造提供了可能。指南针的发明、航海事业的发展促

进了各个学科科学技术的交流。

第二章 宋元时期音乐科技文献史料

宋元时期音乐科技研究课题的开展，首先要从文献史料研究做起，如不广泛的收集和发掘史料，那么往往只会看到音乐表面的现象，而看不到与其密切相关的科学内容。由于中国古代科技与音乐文化融合在一起，科学与技术融合在一起。所以要讨论宋元音乐和科技的关系，就必须埋头于浩如烟海的古代典籍中。宋元时期的音乐科技史料主要集中在以下多本著作中，为力求清晰的记录和整理史料，把每条史料进行四位数编号，前两位代表书目的编号，后两位代表本条史料在本书中的序列号。前两位的书目编号顺序为：《宋史》【01】、《元史》【02】、《梦溪笔谈》【03】、《洞天清录集》【04】、《乐书》【05】、《词源》【06】、《唱论》【07】、《欧阳修集》【08】、《葵辛杂识续集》【09】、《春渚纪闻》【10】、《张载集》【11】、《重修宣和博古图》【12】、《琴论》【13】、《琴书大全》【14】、《琴史》【15】。对宋元时期音乐科技文献史料的分类整理情况，详见附录。

2.1《宋史》中的音乐科技史料①

《宋史》是元末至正三年由丞相脱脱等人修撰，全书共有 496 卷，本纪 47 卷，志 162 卷，表 32 卷，列传 255 卷，是中国二十四史中最庞大的一部史书，是研究北宋和南宋历史的重要史料，更是了解宋朝音乐科技的重要文献资料，较全面的记录了宋代的音乐制度、音乐机构，乐器、音律等，其中关于音乐科技的史料主要在《律历志》、《乐志》中。

【0101】

宋乾德中，太祖以雅乐声高，诏有司重加考正。时判太常寺和岘上言曰：“古圣设法，先立尺寸，作为律吕，三分损益，上下相生，取合真音，谓之形器。但以尺寸长短非书可传，故累秬黍求为准的，后代试之，或不符会。西京铜望臬可校古法，即今司天台影表铜臬下石尺是也。及以朴所定尺比校，短于石尺四分，则声乐之高，盖由于此。况影表测于天地，则管律可以准绳。”上乃令依古法，以造新尺并黄钟九寸之管，命工人校其声，果下于朴所定管一律。又内出上党羊头山秬黍，累尺校律，亦相符合。遂下尚书省集官详定，众议佥同。由是重造十二律管，自此雅音和畅。

（卷六十八·志二十一·律历一）

【0102】

道体为一，天地之元，万物之祖也。散而为气，则有阴有阳；动而为数，则有

① 所收集的史料来自《国学备要》史部·二十六史. 中国国学时代文化传播有限公司

奇有偶；凝而为形，则有刚有柔；发而为声，则有清有浊，其著见而为器，则有律、有吕。凡礼乐、刑法、权衡、度量皆出于是。

（卷七十一·志二十四·律历四）

【0103】

辩音声，曰："宫声沈厚粗大而下，……合口通音谓之宫，其声雄洪，……商声劲凝明达，……开口吐声谓之商，音将将、仓仓然，……角声长而通彻，……声出齿间谓之角，喔喔、确确然，……徵声抑扬流利，……齿合而唇启谓之徵，倚倚、巇巇然，……羽声喓喓而远彻，……齿开唇聚谓之羽，……变宫，西域言'侯利箑'，犹言'斛律'声也。变徵声，西域言'沙侯加滥'，犹应声也。

（卷七十一·志二十四·律历四）

【0104】

明律吕相生，祭天地宗庙，配律阳之数，曰："太空，育五太：太易、太初、太始、太素、太极也。分为七政，阳数七，所以齐律吕、均节度，不可加减也。以育六甲，六甲，天之使，行风雹，筴鬼神。为岁日时有善恶，故为九宫。九者，阳数变化之道也。为四正卦、五行、十干，阴阳错综，律吕相叶，命宫而商者应，修下而高者降，下生隔八，上生隔六，皆图于左。

（卷七十一·志二十四·律历四）

【0105】

出度量衡，辩古今尺龠。律吕真声，本阴阳之气，可以感格天地，在于符合尺寸短长，宜因声以定之。因声定律，则庶几为得；以尺定声，则乖隔甚矣。

（卷七十一·志二十四·律历四）

【0106】

度等上议曰："保信所制尺，用上党秬黍圆者一黍之长，累而成尺。律管一，据尺裁九十黍之长，空径三分，空围九分，容秬黍千二百。遂用黍长为分，再累成尺，校保信尺、律不同。其龠、合、升、斗深阔，推以算法，类皆差舛，不合周、汉量法。逸、瑗所制，亦上党秬黍中者累广求尺，制黄钟之律。今用再累成尺，比逸、瑗所制，又复不同。至于律管、龠、合升、斗、斛、豆、区、鬴亦率类是。盖黍有圆长、大小而保信所用者圆黍，又首尾相衔，逸等止用大者，故再考之即不同。尺既有差，故难以定钟、磬。谨详古今之制，自晋至隋，累黍之法，但求尺裁管，不以权量参校，故历代黄钟之管容黍之数不同。惟后周掘地得古玉斗，据斗造律，兼

制权量，亦不同周、汉制度。

（卷七十一·志二十四·律历四）

【0107】

其后宋祁、田况荐益州进士房庶晓音，祁上其《乐书补亡》三卷，召诣阙。庶自言赏得古本《汉志》，云：‘度起于黄钟之长，以子谷秬黍中者一黍之起，积一千二百黍之广，度之九十分，黄钟之长，一为一分。’今文脱‘之起积一千二百黍’八字，故自前世以来，累黍为尺以制律，是律生于尺，尺非起于黄钟也。……直秘阁范镇是之，乃为言曰：“照以纵黍累尺，管空径三分，容黍千七百三十；瑗以横黍累尺，管容黍一千二百，而空径三分四厘六毫：是皆以尺生律，不合古法。今庶所言，实千二百黍于管。以为黄钟之长，就取三分以为空径，则无容受不合之差，校前二说为是。

（卷七十一·志二十四·律历四）

【0108】

且黄钟之实一千二百黍，积实分八百一十，于算法圆积之，则空径三分，围九分，长九十分，积实八百一十分，此古律也。律体本圆。圆积之是也。今律方积之，则空径三分四厘六毫，比古大矣。故围十分三厘八毫，而其长止七十六分二厘，积实亦八百一十分。律体本不方，方积之，非也。其空径三分，围九分，长九十分，积实八百一十分，非外来者也，皆起于律也。以一黍而起于尺，与一千二百黍之起于律，皆取于黍。今议者独于律则谓之索虚而求求分，亦非也。其空径三分，围九分，长九十分之起于律，与空径三分四厘六毫，围十分三厘八毫，长七十六分二厘之起于尺，古今之法，疏密之课，其不同较然可见，何所疑哉？

（卷七十一·志二十四·律历四）

【0109】

又按先儒皆言律空径三分，围九分，长九十分，容千二百黍，积实八百一十分。今律空径三分四厘六毫，围十分二厘八毫，是为九分外大其一分三厘八毫，而后容千二百黍，除其围广，则其长止七十六分二厘矣。说者谓四厘六毫为方分，古者以竹为律，竹形本圆，今以方分置算，此律之为非是，二也。

（卷七十一·志二十四·律历四）

【0110】

生律之分，盖不止于三分损益之一端，以一律而分为三，此生律之极数，特一求徵声之法耳。苟以三分损益，一下生而一上生，则声律殆无穷矣，何至于十二而

止也乎。夫十二律之生也，十律皆下生，一律独上生。唯其下生者，损之极也，而后上生者益焉。上生则律穷矣，此穷上反下、穷下反上之理也。琴一弦之间具十二律，皆用下生之法，而末以上生法终之。若以七弦而紧慢之为旋宫之法，则应钟一均之律，宫声之外，多用倍法生一律矣。

（卷八十一·志三十四·律历十四）

【0111】

盖律之所以长短，不止乎三分损益之一端，自四分以往，推而至于有二十分之法。管之所以广狭，必限于千二百黍之定数，因其容受有方分、圜分之异，与黍体不相合，而遂分辨其空龠有实积、隙积之理。其还相为宫之法，有以推见其为一阴一阳相继之道，而非一上一下相生之谓也。

（卷八十一·志三十四·律历十四）

【0112】

十月，岘又言："乐器中有叉手笛，乐工考验，皆与雅音相应。按唐吕才歌《白雪》之琴，马滔进《太一》之乐，当时得与宫县之籍。况此笛足以协十二旋相之宫，亦可通八十四调，其制如雅笛而小，长九寸，与黄钟管等。其窍有六，左四右二，乐人执持，两手相交，有拱揖之状，请名之曰'拱宸管'。

（卷一百二十六·志第七十九·乐一）

【0113】

旧制，巢笙、和笙每变宫之际，必换义管，然难于遽易，乐工单仲辛遂改为一定之制，不复旋易，与诸宫调皆协。

（卷一百二十六·志第七十九·乐一）

【0114】

又编钟、镈、磬无大小、轻重、厚薄、气短之差，铜锡不精，声韵失美，大者陵，小者抑，非中度之器也。

（卷一百二十六·志第七十九·乐一）

【0115】

大乐埙，旧以漆饰，敕令黄其色，以本土音。或奏言："柷旧以方画木为之，外图以时卉则可矣，而中设一色，非称也。先儒之说曰：'有柄，连底挏之。'郑康成以为设椎其中撞之。今当创法垂久，用明制作之意有所本焉。柷之中，东方图以青，隐而为青龙；南方图以赤，隐而为丹凤；西方图以白，隐而为驺虞；北方图以黑，隐而为灵龟；中央图以黄，隐而为神蚓。撞击之法，宜用康成之说。"从之。又诏以

新制双凤管付大乐局，其制，合二管以足律声，管端刻饰双凤，施两簧焉。照因自造苇籥、清管、箫管、清笛、雅笛、大笙、大竽、宫琴、宫瑟、大阮、大嵇，凡十一种，求备雅器。诏许以大竽、大笙二种下大乐用之。

（卷一百二十六·志第七十九·乐一）

【0116】

时又出两仪琴及十二弦琴二种，以备雅乐。两仪琴者，施两弦、十二柱；十二弦琴者，如常琴之制而增其弦，皆以象律吕之数。又敕更造七弦、九弦琴，皆令圆其首者以祀天，方其首者以祀地。

（卷一百二十六·志第七十九·乐一）

【0117】

初，照等改造金石所用员程凡七百十四：攻金之工百五十三，攻木之工二百十六，攻皮之工四十九，刮摩之工九十一，搏埴之工十六，设色之工百八十九。起五月，止九月，成金石具七县。至于鼓吹及十二案，悉修饰之。

（卷一百二十六·志第七十九·乐一）

【0118】

十二月，召两府及侍臣观新乐于紫宸殿，凡镈钟十二：黄钟高二尺二寸半，广一尺二寸，鼓六，钲四，舞六，甬、衡并旋虫高八寸四分，遂径一寸二分，深一寸一厘，篆带每面纵者四，横者四，枚景挟鼓与舞，四处各有九，每面共三十六，两栾间一尺四寸，容九斗九升五合，重一百六斤；大吕以下十一钟并与黄钟同制，而两栾间递减半分；至应钟容九斗三升五合，而其重加至应钟重一百四十八斤；并中新律本律。特磬十二：黄钟、大吕股长二尺，博一尺，鼓三尺，博六寸九分寸之六，弦三尺七寸五分；太簇以下股长尺八寸，博九寸，鼓二尺七寸，博六寸，弦三尺三寸七分半，其声各中本律。黄钟厚二寸一分，大吕以下递加其厚，至应钟厚三寸五分。诏以其图送中书。议者以为《周礼》："大钟十分其鼓间，以其一为之厚；小钟十分其钲间，以其一为之厚。"则是大钟宜厚，小钟宜薄。今大钟重一百六斤，小钟乃重一百四十八斤，则小钟厚，非也。又："磬氏为磬，倨句一矩有半，博为一，股为二，鼓为三。叁分其股博，去其一以为鼓博；三分其鼓博，以其一为之厚。"今磬无博厚、无长短，亦非也。

（卷一百二十七·志第八十·乐二）

【0119】

初，李照斥王朴乐音高，乃作新乐，下其声。太常歌工病其太浊，歌不成声，

私赂铸工，使减铜齐，而声稍清，歌乃协。然照卒莫之辨。又朴所制编钟皆侧垂，照、瑗皆非之。及照将铸钟，给铜于铸泻务，得古编钟一，工人不敢毁，乃藏于太常。钟不知何代所作，其铭云："粤朕皇祖宝和钟，粤斯万年，子子孙孙永宝用。"叩其声，与朴钟夷则清声合，而其形侧垂。瑗后改铸，正其钮，使下垂，叩之弇，郁而不扬。其镈钟又长甬而震掉，声不和。

（卷一百二十七·志第八十·乐二）

【0120】

元丰三年五月，诏秘书监致仕刘几赴详定所议乐，以礼部侍郎致仕范镇与几参考得失而几亦请命杨杰同议，且请如景祐故事，择人修制大乐。诏可。初，言大乐七失：一曰歌不永言，声不依永，律不和声。盖金声舂容，失之则重；石声温润，失之则轻；土声函胡，失之则下；竹声清越，失之则高；丝声纤微，失之则细；革声隆大，失之则洪；匏声丛聚，失之则长；木声无余，失之则短。

（卷一百二十八·志八十一·乐三）

【0121】

三曰金石夺伦。乐奏一声，诸器皆以其声应，既不可以不及，又不可以有余。今琴、瑟、埙、篪、笛、箫、笙、阮、筝、筑奏一声，则镈钟、特磬、编磬连击三声；声烦而掩众器，遂至夺伦，则镈钟、特磬、编钟、编磬节奏与众器同，宜勿连击。

（卷一百二十八·志八十一·乐三）

【0122】

几等又以太常磬三等，王朴磬厚，李照磬薄，惟阮逸、胡瑗磬形制精密而声太高，以磬氏之法摩其旁，轻重与律吕相应。钟三等，王朴钟所谓"声疾而短闻"者也，阮逸、胡瑗钟所谓"声舒而远闻"者也，惟李照钟有旋虫之制。钟磬皆三十有六架，架各十有六，则正律相应，清声自足。

（卷一百二十八·志八十一·乐三）

【0123】

今臣所铸编钟十二，皆从其律之长，故钟口十者，其长十六以为钟之身。钲者，正也，居钟之中，上下皆八，下去二以为之鼓，上去二以为之舞，则钲居四而鼓与舞皆六。是故于、鼓、钲、舞、篆、景、栾、队、甬、衡、旋虫，钟之文也，著于外者也；广、长、空径、厚、薄、大、小，钟之数也，起于内者也。若夫金锡之齐与铸金之状率按诸《经》，差之毫厘则声有高下，不可不审。其镈钟亦以此法而四倍

之。

（卷一百二十八·志八十一·乐三）

【0124】

今太常钟无大小、无厚薄、无金齐，一以黄钟为率，而磨以取律之合，故黄钟最薄而轻。自大吕以降，迭加重厚，是以卑陵尊，以小加大，其可乎？

（卷一百二十八·志八十一·乐三）

【0125】

今之十二磬，长短、厚薄皆不以律，而欲求其声，不亦远乎？钟有齐也，磬，石也，天成之物也。以其律为之长短、厚薄，而其声和，此出于自然，而圣人者能知之，取以为法，后世其可不考正乎？考正而非是，则不足为法矣。

（卷一百二十八·志八十一·乐三）

【0126】

石部有二：曰特磬，曰编磬。其说以谓："依我磬声"，以石有一定之声，众乐依焉，则钟磬未尝不相须也。往者，国朝祀天地、宗庙及大朝会，宫架内止设镈钟，惟后庙乃用特磬，若已升祔后庙，遂置而不用。如此，则金石之声小大不侔。《大晟》之制，金石并用，以谐阴阳。汉津之法，以声为主，必用泗滨之石，故《禹贡》必曰"浮磬"者，远土而近于水，取之实难。昔奉常所用，乃以白石为之，其声沉下，制作简质，理宜改造焉。

（卷一百二十九·志八十二·乐四）

【0127】

竹部有三：曰长笛，曰篪，曰箫。其说以谓：笛以一管而兼律吕，众乐由焉。三窍成籥，三才之和寓焉。六窍为笛，六律之声备焉。篪之制，采竹窍厚均者，用两节，开六孔，以备十二律之声，则篪之乐生于律。乐始于律而成于箫。律准凤鸣，以一管为一声。箫集众律，编而为器：参差其管，以象凤翼，箫然清亮，以象凤鸣。

（卷一百二十九·志八十二·乐四）

【0128】

匏部有六：曰竽笙，曰巢笙，曰和笙，曰闰余匏，曰九星匏，曰七星匏。其说以谓：列其管为箫，聚其管为笙。凤凰于飞，箫则象之；凤凰戾止，笙则象之。故内皆用簧，皆施匏于下。前古以三十六簧为竽，十九簧为巢，十三簧为和，皆用十九数，而以管之长短、声之大小为别。八音之中，匏音废绝久矣。后世以木代匏，乃更其制，下皆用匏，而并造十三簧者，以象闰余。十者，土之成数；三者，木之

生数，木得土而能生也。九簧者，以象九星。物得阳而生，九者，阳数之极也。七簧者，以象七星。笙之形若鸟敛翼，鸟，火禽，火数七也。

（卷一百二十九·志八十二·乐四）

【0129】

六年，诏：“先帝尝命儒臣肇造玉磬，藏之乐府，久不施用，其令略加磨砻，俾与律合。并造金钟，专用于明堂。”

（卷一百二十九·志八十二·乐四）

【0130】

十四年，太常寺言：“将来大礼，见阙玉磬十六枚。其所定声律，系于玉分厚薄，取声高下。正声凡十有二，黄钟厚八分，进而为大吕、太簇、夹钟、姑洗、仲吕、蕤宾、林钟、夷则、南吕、无射、应钟，每律增一分，至应钟一寸九分而止。清声夹钟厚二寸三分，退而为太簇、大吕、黄钟，共四清声，各减一分，至黄钟二寸而止。”

（卷一百三十·志第八十三·乐五）

【0131】

金玉禀气于乾，纯精至贵，故钟必以金，磬必以玉，始备金声玉振之全，此中兴所以继作也。

（卷一百三十·志第八十三·乐五）

【0132】

绍兴大乐，多用大晟所造，有编钟、镈钟、景钟，有特磬、玉磬、编磬，三钟三磬未必相应。埙有大小，箫、篪、笛有长短，笙、竽之簧有厚薄，未必能合度，琴、瑟弦有缓急燥湿，轸有旋复，柱有进退，未必能合调。总众音而言之，金欲应石，石欲应丝，丝欲应竹，竹欲应匏，匏欲应土，而四金之音又欲应黄钟，不知其果应否。乐曲知以七律为一调，而未知度曲之义；知以一律配一字，而未知永言之旨。黄钟奏而声或林钟，林钟奏而声或太簇。七音之协四声，各有自然之理。今以平、入配重浊，以上、去配轻清，奏之多不谐协。

（卷一百三十一·志第八十四·乐六）

【0133】

八音之中，琴、瑟尤难。琴必每调而改弦，瑟必每调而退柱，上下相生，其理至妙，知之者鲜。又琴、瑟声微，常见蔽于钟、磬、鼓、箫之声；匏、竹、土声长，而金石常不能以相待，往往考击失宜，消息未尽。

（卷一百三十一 · 志第八十四 · 乐六）

【0134】

宫为君、为父，商为臣、为子，宫商和则君臣父子和。徵为火，羽为水，南方火之位，北方水之宅，常使水声衰、火声盛，则可助南而抑北。宫为夫，徵为妇，商虽父宫，实徵之子，常以妇助夫、子助母，而后声成文。徵盛则宫唱而有和，商盛则徵有子而生生不穷，休祥不召而自至，灾害不被而自消。

（卷一百三十一 · 志第八十四 · 乐六）

【0135】

张载有曰："声音之道与天地通，蚕吐丝而商弦绝，木气盛则金气衰，乃此理自相应。今人求古乐太深，始以古乐为不可知，律吕有可求之理，惟德性深厚者能知之。"此三臣之学，可谓穷本知变，达乐之要者矣。

（卷一百三十一 · 志第八十四 · 乐六）

【0136】

其黄钟篇曰：天地之数始于一，终于十：其一、三、五、七、九为阳，九者，阳之成也；其二、四、六、八、十为阴，十者，阴之成也。黄钟者，阳声之始，阳气之动也，故其数九。分寸之数，具于声气之先，不可得而见。及断竹为管，吹之而声和，候之而气应，而后数始形焉。均其长，得九寸；审其围，得九分；积其实，得八百一十分。长九寸，围九分，积八百一十分，是为律本，度量权衡于是而受法，十一律由是损益焉。

（卷一百三十一 · 志第八十四 · 乐六）

【0137】

《黄钟生十一律篇》曰：子、寅、辰、午、申、戌六阳辰皆下生，丑、卯、巳、未、酉、亥六阴辰皆上生。阳数以倍者，三分本律而损其一也；阴数以四者，三分本律而增其一也。六阳辰当位，自得六阴位以居其冲。其林钟、南吕、应钟三吕在阴，无所增损；其大吕、夹钟、仲吕三吕在阳，则用倍数，方与十二月之气相应，盖阴阳自然之理也。

（卷一百三十一 · 志第八十四 · 乐六）

【0138】

《十二律篇》曰：按十二律之实，约以寸法，则黄钟、林钟、太簇得全寸；约以分法，则南吕、姑洗得全分；约以厘法，则应钟、蕤宾得全厘；约以毫法，则大吕、夷则得全毫；约以丝法，则夹钟、无射得全丝。约至仲吕之实十三万一千七十

二，以三分之，不尽二算，其数不行，此律之所以止于十二也。

（卷一百三十一·志第八十四·乐六）

【0139】

《变律篇》曰：十二律各自为宫，以生五声二变。其黄钟、林钟、太簇、南吕、姑洗、应钟六律，则能具足。至蕤宾、大吕、夷则、夹钟、无射、仲吕六律，则取黄钟、林钟、太簇、南吕、姑洗、应钟六律之声，少下，不和，故有变律。律之当变者有六：黄钟、林钟、太簇、南吕、姑洗、应钟。变律者，其声近正律而少高于正律，然后洪纤、高下不相夺伦。变律非正律，故不为宫。

（卷百三十一·志第八十四·乐六）

【0140】

《律生五声篇》曰：宫声八十一，商声七十二，角声六十四，徵声五十四，羽声四十八。按黄钟之数九九八十一，是为五声之原，三分损一以下生徵，徵三分益一以上生商，商三分损一以下生羽，羽三分益一以上生角。至角声之数六十四，以三分之，不尽一算，数不可行，此声之数所以止于五也。

（卷一百三十一·志第八十四·乐六）

【0141】

宜众乐皆为琴之臣妾。然八音之中，金、石、竹、匏、土、木六者，皆有一定之声：革为燥湿所薄，丝有弦柱缓急不齐，故二者其声难定。鼓无当于五声，此不复论。惟丝声备五声，而其变无穷。

（卷一百四十二·志九十五·乐十七）

【0142】

夔乃定瑟之制：桐为背，梓为腹，长九尺九寸，首尾各九寸，隐间八尺一寸，广尺有八寸，岳崇寸有八分。中施九梁，皆象黄钟之数。梁下相连，使其声冲融；首尾之下为两穴，使其声条达，是《传》所谓“大瑟达越”也。……漆其壁与首、尾、腹，取椅、桐、梓漆之。全设二十五弦，弦一柱，崇二寸七分。别以五色，五五相次，苍为上，朱次之，黄次之，素与黔又次之，使肄习者便于择弦。弦八十一丝而朱之，是谓朱弦。其尺则用汉尺。凡瑟弦具五声，五声为均，凡五均，其二变之声，则柱后抑角、羽而取之，五均凡三十五声。十二律、六十均、四百二十声，瑟之能事毕矣。夔于琴、瑟之议，其详如此。

（卷一百四十二·志九十五·乐十七）

【0143】

朱熹尝与学者共讲琴法，其定律之法：十二律并用太史公九分寸法为准，损益相生，分十二律及五声，位置各定。按古人以吹管声傅于琴上，如吹管起黄钟，则以琴之黄钟声合之；声合无差，然后以次遍合诸声，则五声皆正。唐人纪琴，先以管色合字定宫弦，乃以宫弦下生徵，徵上生商，上下相生，终于少商。下生者隔二弦、上生者隔一弦取之。凡丝声皆当如此。今人苟简，不复以管定声，其高下出于临时，非古法也。

（卷一百四十二 · 志九十五 · 乐十七）

【0144】

调弦之法：散声隔四而得二声；中晖亦如之而得四声；八晖隔三而得六声；九晖按上者隔二而得四声，按下者隔一而得五声；十晖按上者隔一而得五声，按下者隔二而得四声。每疑七弦隔一调之，六弦皆应于第十晖，而第三弦独于第十一晖调之乃应。及思而得之，七弦散声为五声之正，而大弦十二律之位，又众弦散声之所取正也。故逐弦之五声皆自东而西，相为次第。其六弦会于十晖，则一与三者，角与散角应也；二与四者，徵与散徵应也；四与六者，宫与散少宫应也；五与七者，商与散少商应也；其第三、第五弦会于十一晖，则羽与散羽应也。义各有当，初不相须，故不同会于一晖也。

（卷一百四十二 · 志九十五 · 乐十七）

【0145】

肃言："旧太常钟磬皆设色，每三岁亲祠，则重饰之。岁既久，所涂积厚，声益不协。"乃诏与李照、宋祁同按王朴律，即划涤考击，合以律准，试于后苑，声皆协。

（卷二百九十八 · 列传第五十七 · 燕肃传）

2.2《元史》中的音乐科技史料①

全书共 210 卷，共有本纪 47 卷，志 58 卷、表 8 卷、列传 97 卷，记述了从 1271 到 1368 年元朝建立和灭亡的历史。有关音乐科技史料的文献，主要记载在卷六十八《礼乐二》、卷七十一《礼乐五》中。详细记载了各种乐器的形制，具体到人们根据文献的描述可以准确的还原其原来的面目。从音乐科技的角度看，这对研究元代音乐声学，音乐数学，特别是乐器工艺制造方面的研究提供了丰富的材料。从中看出元代对乐器材料的运用广泛，对材料的选取上也特别的讲究，材料的大小、长短、厚薄都有了确定的数据。在工艺上，随着科技的发展，装饰的技术也越来越高，，工

① 所收集的史料来自《国学备要》史部 · 二十六史.中国国学时代文化传播有限公司

艺越来越精湛。在追求音质的同时，对它的审美的要求也越来越高。

【0201】

二十二年冬闰十有一月，太常卿忽都于思奏："大乐见用石磬，声律不协。稽诸古典，磬石莫善于泗滨，女直未尝得此。今泗在封疆之内，宜取其石以制磬。"从之。选审听音律大乐正赵荣祖及识辨磬材石工牛全，诣泗州采之，得磬璞九十，制编磬二百三十。命大乐令陈革等料简，应律者百有五。二十三年，忽都于思又奏："太庙乐器，编钟、笙匏，岁久就坏，音律不协。"遂补铸编钟八十有一，合律者五十，造笙匏三十有四。二十九年四月，太常太卿香山请采石增制编磬，遣孔铸驰驿往泗州，得磬璞五十八，制磬九十。大乐令毛庄等审听之，得应律磬五十有八，于是编磬始备。

（卷六十八·志十九·礼乐二）

【0202】

编钟一虡，钟十有六，范金为之。笋虡（横曰笋，植曰虡。）皆雕绘树羽，涂金双凤五，中列博山，崇牙十有六，县以红绒组。虡趺青龙籍地，以绿油卧梯二，加两跗焉。笋两端金螭首，衔鍮石璧翣，五色销金流苏，绦以红绒维之。铁杙者四，所以备攲侧。在太室以碍地甓，因易以石麟。虡额识以金饰篆字。击钟者以茱萸木为之，合竹为柄。凡钟，未奏，覆以黄罗；雨，覆以油绢。磬亦然。

（卷六十八·志十九·礼乐二·登歌乐器·金部）

【0203】

编磬一虡，磬十有六，石为之。县以红绒紃，虡跗狻猊。拊磬者，以牛角为之。余笋虡、崇牙、树羽、璧翣、流苏之制，并与钟同。元初，磬亦用宋、金旧器。至元中，始采泗滨灵壁石为之。

（卷六十八·志十九·礼乐二·登歌乐器·石部）

【0204】

琴十，一弦、三弦、五弦、七弦、九弦者各二。斫桐为面，梓为底，冰弦，木轸，漆质，金徽，长三尺九寸。首阔五寸二分，通足中高二寸七分，旁各高二寸；尾阔四寸一分，通足中高二寸，旁各高一寸五分。俱以黄绮夹囊贮之。琴卓髹以绿。

（卷六十八·志十九·礼乐二·登歌乐器·丝部）

【0205】

瑟四，其制，底面皆用梓木，面施采色，两端绘锦，长七尺。首阔尺有一寸九分，通足中高四寸，旁各高三寸；尾阔尺有一寸七分，通足中高五寸，旁各高三寸

五分。朱丝为弦，凡二十有五，各设柱，两头有孔，疏通相连，以黄绮夹囊贮之。架四，髹以绿，金饰凤首八。

（卷六十八 · 志十九 · 礼乐二 · 登歌乐器 · 丝部）

【0206】

箫二，编竹为之，每架十有六管，阔尺有六分。黑枪金鸾凤为饰，鍮石钉铰。以黄绒紃维于人项，左右复垂红绒绦结。架以木为之，高尺有二寸，亦号排箫，韬以黄囊。

（卷六十八 · 志十九 · 礼乐二 · 登歌乐器 · 竹部）

【0207】

笛一，断竹为之，长尺有四寸，七孔，亦号长笛。缠以朱丝，垂以红绒绦结，韬以黄囊。

（卷六十八 · 志十九 · 礼乐二 · 登歌乐器 · 竹部）

【0208】

籥二，制如笛，三孔。缠以朱丝，垂以红绒绦结，韬以黄囊。

（卷六十八 · 志十九 · 礼乐二 · 登歌乐器 · 竹部）

【0209】

篪二，髹色如桐叶，七孔。缠以朱丝，垂以红绒绦结，韬以黄囊。

（卷六十八 · 志十九 · 礼乐二 · 登歌乐器 · 竹部）

【0210】

巢笙四，和笙四，七星匏一，九曜匏一，闰余匏一，皆以斑竹为之。玄髹底，置管匏中，施簧管端，参差如鸟翼。大者曰巢笙，次曰和笙，管皆十九，簧如之。十三簧者曰闰余匏，九簧者曰九曜匏，七簧者曰七星匏，皆韬以黄囊。

（卷六十八 · 志十九 · 礼乐二 · 登歌乐器 · 匏部）

【0211】

埙二，陶土为之，围五寸半，长三寸四分，形如称锤，六孔，上一，前二，后三，韬以黄囊。

（卷六十八 · 志十九 · 礼乐二 · 登歌乐器 · 土部）

【0212】

搏拊二，制如鼓而小，中实以糠，外髹以朱，绘以绿云，系以青绒绦。两手用之，或搏或拊，以节登歌之乐。

（卷六十八 · 志十九 · 礼乐二 · 登歌乐器 · 革部）

【0213】

柷一，以桐木为之，状如方桶，绘山于上，髹以粉，旁为圆孔，纳椎于中。椎以杞木为之，撞之以作乐。

（卷六十八·志十九·礼乐二·登歌乐器·木部）

【0214】

敔一，制以桐木，状如伏虎，彩绘为饰，背有二十七鉏铻刻，下承以盘。用竹长二尺寸，破为十茎，其名曰籈，栎其背以止乐。

（卷六十八·志十九·礼乐二·登歌乐器·木部）

【0215】

镈钟十有二虡，虡一钟，制视编钟而大，依十二辰位特县之，亦号辰钟。笋虡朱髹、涂金，彩绘飞龙，趺东青龙，西白虎，南赤豸，北玄麟，素罗五色流苏。余制并与编钟同。

（卷六十八·志十九·礼乐二·宫县乐器·金部）

【0216】

竽十，竹为之。与巢笙皆十九簧，惟指法各异。

（卷六十八·志十九·礼乐二·宫县乐器·匏部）

【0217】

晋鼓一，长六尺六寸，面径四尺，围丈有二尺，穹隆者居鼓面三之一，穹径六尺六寸三分寸之一，面绘云龙为饰，其皋陶以朱髹之，下承以彩绘趺座，并鼓高丈余。在郊祀者，鞔以马革。

（卷六十八·志十九·礼乐二·宫县乐器·革部）

【0218】

树鼓四，每树三鼓。其制高六尺六寸，中植以柱，曰建鼓。柱末为翔鹭，下施小圆轮。又为重斗，方盖，并缭以彩绘。四角有竿，各垂璧翣流苏，下以青狻猊四为趺。建旁挟二小鼓，曰鞞、曰应，树乐县之四隅。踏床、鼓桴，并髹以朱。

（卷六十八·志十九·礼乐二·宫县乐器·革部）

【0219】

雷鼓二，制如鼓而小，鞔以马革，持其柄播之，旁耳自击，郊祀用之。

（卷六十八·志十九·礼乐二·宫县乐器·革部）

【0220】

雷鼗二，亦以马革鞔之，为大小鼓三，交午贯之以柄，郊祀用之。

（卷六十八·志十九·礼乐二·宫县乐器·革部）

【0221】

路鼓二，制如雷鼓，惟非马革，祀宗庙用之。

（卷六十八·志十九·礼乐二·宫县乐器·革部）

【0222】

路鼗二，其制为大小二鼓，午贯之，旁各有耳，以柄摇之，耳往还自击，不以马革，祀宗庙用之。

（卷六十八·志十九·礼乐二·宫县乐器·革部）

【0223】

金錞二，范铜为之，中虚，鼻象狻猊，木方趺。二人举錞，筑于趺上。

（卷六十八·志十九·礼乐二·武舞器）

【0224】

铙二，制如火斗，有柄，以铜为匡，疏其上如铃，中有丸。执其柄而摇之，其声铙铙然，用以止鼓。

（卷六十八·志十九·礼乐二·武舞器）

【0225】

单铎、双铎各二，制如小钟，上有柄，以金为舌，用以振武舞。两铎通一柄者，号曰双铎。

（卷六十八·志十九·礼乐二·武舞器）

【0226】

雅鼓二，制如漆筒，鞔以羊革，旁有两纽。工人持之，筑地以节舞。

（卷六十八·志十九·礼乐二·武舞器）

【0227】

相鼓二，制如搏拊，以韦为表，实之以糠。拊其两端，以相乐舞节。

（卷六十八·志十九·礼乐二·武舞器）

【0228】

协律郎二人，掌和律吕，以合阴阳之声。阳律六：黄钟子，太簇寅，姑洗辰，蕤宾午，夷则申，无射戌。阴吕六：大吕丑，夹钟卯，仲吕巳，林钟未，南吕酉，应钟亥。文之以宫、商、角、征、羽、变宫、变征，播之以金、石、丝、竹、匏、土、革、木。凡律管之数九，九九相乘，八十一以为宫；三分去一，五十四以为徵；三分益一，七十二以为商；三分去一，四十八以为羽；三分益一，六十四以为角。

如黄钟为宫，则林钟为征，太簇为商，南吕为羽，姑洗为角，应钟为变宫，蕤宾为变征，是为七声十二律，还相为宫，为八十四调。

（卷七十一 · 志二十二 · 礼乐五）

【0229】

兴隆笙，制以楠木，形如夹屏，上锐而面平，缕金雕镂枇杷、宝相、孔雀、竹木、云气，两旁侧立花板，居背三之一，中为虚柜，如笙之匏。上竖紫竹管九十，管端实以木莲苞。柜外出小橛十五，上竖小管，管端实以铜杏叶。下有座，狮象绕之，座上柜前立花板一，雕镂如背，板间出二皮风口，用则设朱漆小架于座前，系风囊于风口，囊面如琵琶，朱漆杂花，有柄，一人授小管，一人鼓风囊，则簧自随调而鸣。中统间，回回国所进。以竹为簧，有声而无律。玉宸乐院判官郑秀乃考音律，分定清浊，增改如今制。其在殿上者，盾头两旁立刻木孔雀二，饰以真孔雀羽，中设机。每奏，工三人，一人鼓风囊，一人按律，一人运动其机，则孔雀飞舞应节。

（卷七十一 · 志二十二 · 礼乐五 · 宴乐之器）

【0230】

琵琶，制以木，曲首，长颈，四轸，颈有品，阔面，四弦，面饰杂花。

（卷七十一 · 志二十二 · 礼乐五 · 宴乐之器）

【0231】

筝，如瑟，两头微垂，有柱，十三弦。

（卷七十一 · 志二十二 · 礼乐五 · 宴乐之器）

【0232】

火不思，制如琵琶，直颈，无品，有小槽，圆腹如半瓶榼，以皮为面，四弦，皮絣同一孤柱。

（卷七十一 · 志二十二 · 礼乐五 · 宴乐之器）

【0233】

胡琴，制如火不思，卷颈，龙首，二弦，用弓捩之，弓之弦以马尾。

（卷七十一 · 志二十二 · 礼乐五 · 宴乐之器）

【0234】

方响，制以铁，十六枚，悬于磬虡，小角槌二。廷中设，下施小交足几，黄罗销金衣 。

（卷七十一 · 志二十二 · 礼乐五 · 宴乐之器）

【0235】

头管，制以竹为管，卷芦叶为首，窍七。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0236】

笙，制以匏为底，列管于上，管十三，簧如之。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0237】

箜篌，制以木，阔腹，腹下施横木，而加轸二十四，柱头及首并加凤喙。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0238】

云璈，制以铜，为小锣十三，同一木架，下有长柄，左手持，而右手以小槌击之。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0239】

戏竹，制如籈，长二尺馀，上系流苏香囊，执而偃之，以止乐。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0240】

鼓，制以木为匡，冒以革，朱漆杂花，面绘复身龙，长竿二。廷中设，则有大木架，又有击挝高座。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0241】

杖鼓，制以木为匡，细腰，以皮冒之，上施五彩绣带，右击以杖，左拍以手。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0242】

闉，制如筝而七弦，有柱，用竹轧之。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0243】

羌笛，制如笛而长，三孔。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0245】

拍板，制以木为板，以绳联之。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

【0244】

水盏，制以铜，凡十有二，击以铁箸。

（卷七十一·志二十二·礼乐五·宴乐之器）

2.3《梦溪笔谈》中的音乐科技史料①

北宋沈括撰写的《梦溪笔谈》是笔记体裁的综合性科学著作，其涵盖着人文科学与自然科学的诸多领域。全书共30卷，《笔谈》26卷、《补笔谈》3卷、《续笔谈》1卷，在广博的内容中，“乐律”门类与音乐科技的有关，在其他门类中也较少的涉及到了音乐科技，如书画，象数等门类。其涉及音乐科技的诸多领域，如在音乐声学领域，沈括第一次用实验的方式演示了琴弦共振的原理，对其作出很好的解释。在歌唱声学中，对“声中无字，字中有声”这个歌唱理论的解释，是目前所见进行论述的最早的声乐文献。另外在音乐数学，乐器声学等领域也进行了详细的记载，从《梦溪笔谈》不少事件的记载中可以反映出朴素的唯物论和辩证的音乐科学思想。可以说《梦溪笔谈》对研究宋元时期音乐科技有着重要的价值。

【0301】

六吕：三曰钟，三曰吕。钟与吕常相间，常相对，六吕之间，复自有阴阳也。纳音之法：申、子、辰、巳、酉、丑为阳纪，寅、午、戌、亥、卯、未为阴纪。亥、卯、未，曰夹钟、林钟、应钟，阳中之阴也。黄钟者，阳之所钟也；夹钟、林钟、应钟，阴之所钟也：故皆谓之钟。巳、酉、丑，大吕、中吕、南吕，阴中之阳也。吕，助也，能时出而助阳也，故皆谓之吕。

（卷五：乐律83条）

【0302】

《汉志》：“阴阳相生，自黄钟始，而左旋，八八为伍。”八八为伍者，谓一上生与一下生相间，如此，则自大吕以后，律数皆差，须自蕤宾再上生，方得本数。此八八为伍之误也。或曰：律无上生吕之理，但当下生而用独倍。二说皆通。然至蕤宾清宫，生大吕清宫，又当再上生。如此时上时下，即非自然之数，不免牵合矣。自子至巳，为阳律、阳吕；自午至亥，为阴律、阴吕。凡阳律、阳吕，皆下生；阴律、阴吕，皆上生。故巳方之律谓之中吕，言阴阳至此而中也。至午则谓之蕤宾。阳常为主，阴常为宾。蕤宾者，阳至此而为宾也。纳音之法，自黄钟相生，至于中吕而中，谓之阳纪；自蕤宾相生，至于应钟而终，谓之阴纪。盖中吕为阴阳之中，

① 所收集的史料来自：胡道静.梦溪笔谈校正. 上海，古典文学出版社,1957
中央民族学院艺术系文艺理论组.《梦溪笔谈》音乐部分注释.北京,人民音乐出版社 1979

子午为阴阳之分也。

（卷五：乐律 84 条）

【0303】

古之善歌者有语，谓当使“声中无字，字中有声。”凡曲，止是一声清浊高下如萦缕耳。字则有喉唇齿舌等音不同。当使字字举本皆轻园，悉融入声中，令转换处无磊块，此谓“声中无字”，古人谓之“如贯珠”，今谓之“善过度”是也。如宫声字，而曲合用商声，则能转宫为商歌之，此“字中有声”也，善歌者谓之“内里声。”不善歌者，声无抑扬，谓之“念曲”；声无含韫，谓之“叫曲”。

（卷五：乐律 92 条）

【0304】

唐《独异志》云：“唐承隋乱，乐虡散亡，独无徵音。李嗣真密求得之。闻弩营中砧声，求得丧车一铎，入振之于东南隅，果有应者。掘之，得石一段，裁为四具，以补乐虡之阙。”此妄也。声在短长厚薄之间，故《考工记》：“磬氏为磬，已上则磨其旁，已下则磨其端。”磨其毫末，则声随而变，岂有帛砧裁琢为磬，而尚存故声哉。兼古乐宫、商无定声，随律命之，迭为宫、徵。嗣真必尝为新磬，好事者遂附益为之说。既云“裁为四具”，则是不独补徵声也。

（卷五：乐律 97 条）

【0305】

《国史纂异》云：“润州曾得玉磬十二以献。张率更叩其一，曰：‘晋某岁所造也。是岁闰月，造磬者法月数，当有十三。宜于黄钟东九尺掘，必得焉。’从之，果如其言。”此妄也。法月律为磬，当依节气，闰月自在其间，闰月无中气，岂当月律？此懵然者为之也。扣其一，安知其是晋某年所造？既沦陷在地中，岂暇复按方隅尺寸埋之？此欺诞之甚也！

（卷五：乐律 98 条）

【0306】

六十甲子有纳音，鲜原其意。盖六十律旋相为宫法也。一律含五音，十二律纳六十音也。凡气始于东方而右行，音起于西方而左行。阴阳相错，而生变化。所谓气始于东方者，四时始于木，右行传于火，火传于土，土传于金，金传于水。所谓音始于西方者，五音始于金，左旋传于火，火传于木，木传于水，水传于土。纳音之法，同类娶妻，隔八生子。此律吕相生之法也。五行先仲而后孟，孟而后季，此遁甲三元之纪也。甲子金之仲，同位娶乙丑，隔八下生壬申，金之孟。壬

申同位娶癸酉，隔八上生庚辰，金之季。庚辰同位娶辛巳，隔八下生戊子，火之仲。戊子娶己丑，生丙申，火之孟。丙申娶丁酉。生甲辰，火之季。甲辰娶乙巳。生壬子，木之仲。如是左行至于丁巳，中吕之宫，五音一终。复自甲午金之仲，娶乙未，隔八生壬寅，一如甲子之法，终于癸亥。自子至于巳为阳，故自黄钟至于中吕皆下生；自午至于亥为阴，故自林钟至于应钟皆上生。予于《乐论》叙之甚详，此不复纪。

（卷五：乐律 103 条）

【0307】

甬所以中空者，疑钟縻自其中垂下，当衡甬之间，以横栝挂之，，横栝疑所谓旋虫也。今考其名，竹筒之筒，文从竹、从甬，则甬仅乎空；甬半以上微小者，所以碍横栝，以其横栝所在也，则有衡之义也。其横栝之形，似虫而可旋，疑所谓旋虫。以今之钟镈校之，此衡甬中空，则犹小于甬者，乃欲碍横栝，似有所因。彼衡、甬俱实，则衡小于甬，似无所困。彼衡、甬俱实，则衡小于甬，似无所困。又以其栝之横于其中也，则宜有衡义。实甬直上植之，而谓之衡者何义？又横栝以其可旋而有虫形，或可谓之旋虫；今钟则实其纽不动，何缘得“旋”名？若以侧垂之，其钟可以掉荡旋转，则钟常不定，击者安能常当其隧？此皆可疑，未知孰是。

（卷五：乐律 104）

【0308】

笛有雅笛，有羌笛。其形制所始，旧说皆不同。《周礼》：“笙师掌教篪笛。”或云：“汉武帝时，丘仲始作笛。”又云：“起于羌人。”后汉马融所赋长笛，空洞无底，剡其上孔五孔，一孔出其背，正似今之“尺八。”李善为之注云：“七孔，长一尺四寸。”此乃今之横笛耳，太常鼓吹部中谓之“横吹”，非融之所赋者。融赋云：“易京君明识音律，故本四孔加以一。君明所加孔后出，是谓商声五音毕。”沈约《宋书》亦云：“京房备其五音。”《周礼·笙师》注：“杜子春云：‘笛乃令今时所吹五空竹笛。’”以融，约所记论之，则古笛不应有五孔，则子春之说，亦未为然。今《三礼图》画笛，亦横设而有五孔，又不知出何曲据。

（卷五：乐律 108 条）

【0309】

琴虽用桐，然须多年木性都尽，声始发越。予曾见唐初路氏琴，木皆枯朽，殆不胜指，而其声愈清。又尝见越人陶道真畜一张越琴，传云古冢中败棺杉木也，声极劲挺。吴僧智和有一琴，瑟瑟徽碧，纹石为轸，制度音韵皆臻妙。腹有李阳冰篆

数十字，其略云："南溟岛上得一木，名伽陀罗，纹如银屑，其坚如石，命工斫为此琴。"篆文甚古劲。琴材欲轻、松、脆、滑，谓之四善。木坚如石，可以制琴，亦所未谕也。《投荒录》云："琼管多乌樠、呿陀，皆奇木。"疑"伽陀罗"即"呿陀"也。

（卷五：乐律 109 条）

【0310】

前世遗事，时有于古人文章中见之。元稹诗有"琵琶宫调八十一，三调弦中弹不出。"琵琶共有八十四调，盖十二律各七均，乃成八十四调；稹诗言"八十一调"，人多不喻所谓。予于金陵丞相家得唐贺怀智《琵琶谱》一册，其序云："琵琶八十四调，内黄钟、太蔟、林钟宫声，弦中弹不出，须管色定弦，其余八十一调皆以此三调为准，更不用管色定弦。"始喻稹诗言。如今之调琴，须先用管色"合"字定宫弦，乃以宫弦下生徵，徵弦上生商，上下相生，终于少商。凡下生者隔二弦，上生者隔一弦取之。凡弦声皆当如此。古人仍须以金石为准，《商颂》"依我磬声"是也。今人苟简，不复以弦管定声，故其高下无准，出于临时。怀智《琵琶谱》调格，与今乐全不同。唐人乐学精深，尚有雅律遗法。今之燕乐，古声多亡，而新声大率皆无法度。乐工自不能言其义，如何得其声和？

（卷六：乐律 111 条）

【0311】

古法，钟磬每虡十六，乃十六律也。然一虡又自应一律，有黄钟之虡，有大吕之虡，其他乐皆然。且以琴言之，虽皆清实，其间有声重者，有声轻者，材中自有五音，故古人名琴，或谓之清徵，或谓之清角。不独五音也，又应诸调。予友人家有一琵琶，置之虚室，以管色奏双调，琵琶弦辄有声应之，奏他调则不应，宝之以为异物。殊不知此乃常理。二十八调但有声同者即应；若遍二十八调而不应，则是逸调声也。古法，一律有七音，十二律共八十四调。更细分之，尚不止八十四。逸调至多。偶在二十八调中，人见其应，则以为怪，此常理耳。此声学至要妙处也。今人不知此理，故不能极天地至和之声。世之乐工，弦上音调尚不能知，何暇及此！

（卷六：乐律 115）

【0312】

《史记律书》所论二十八舍、十二律，多皆臆配，殊无义理。至于言数，亦多差舛。如所谓"律数者，八十一为宫，五十四为徵，七十二为商，四十八为羽，六十四为角"。此止是黄钟一均耳。十二律各有五音，岂得定以此为律数？如五十四在黄钟则为徵，在夹钟则为角，在中吕则为商。兼律有多寡之数，有实积之数，有短

长之数，有周径之数，有清浊之数。其八十一、五十四、七十二、四十八、六十四，止是实积数耳。又云："黄钟长八寸七分一，大吕长七寸五分三分一，大蔟长七寸七分二，夹钟长六寸二分三分一，姑洗长六寸七分四，中吕长五寸九分三分二，蕤宾长五寸六分二分一，林钟长五寸七分四，夷则长五寸四分三分二，南吕长四寸七分八，无射长四寸四分三分二，应钟长四寸二分三分二。"此尤误也。此亦实积耳，非律之长也。盖其间字又有误者，疑后人传写之失也。余分下分母，凡"七"字皆当作"十"字，误屈其中画耳。

（卷八：象数 143 条）

【0313】

相国寺旧画壁，乃高益之笔。有画众工奏乐一堵，最有意。人多病拥琵琶者误拨下弦，众管皆发"四"字。琵琶"四"字在上弦，此拨乃掩下弦，误也。予以谓非误也。盖管以发指为声，琵琶以拨过为声，此拨掩下弦，则声在上弦也。益之布置尚能如此，其心匠可知。

（卷十七：书画 279 条）

【0314】

乐有中声，有正声。所谓中声者，声之高至于无穷，声之下亦无穷，而各具十二律，作乐者必求其高下最中之声，不如是不足以致大和之音，应天地之节。所谓正声者，如弦之有十三泛韵，此十二律自然之节也。盈丈之弦，其节亦十三；盈尺之弦，其节亦十三。故琴以为十三徽。不独弦如此，金石亦然。《考工》为磬之法，已上则磨其耑，已下则磨其旁，磨之至于击而有韵处即与徽应，过之则复无韵；又磨之至于有韵处，复应一一徽。石无大小，有韵处亦不过十三，犹弦之有十三泛声也。此天地至理，人不能以毫厘损益其间。近世金石之工，盖未尝及此。不得正声，不足为器；不得中声，不得为乐。

（补笔谈卷一：乐律 533）

【0315】

本朝燕部乐，经五代离乱，声律差舛 。传闻国初比唐乐高五律。近世乐声渐下，尚高两律。予尝以问教坊老乐工，云："乐声岁久，势当渐下。"一事验之可见：教坊管色，岁月浸深，则声渐差，辄复一易。祖父所用管色，今多不可用，唯方响皆是古器。铁性易缩，时加磨莹，铁愈薄而声愈下。乐器须以金石为准；若准方响，则声自当渐变。古人制器，用石玉铜，取其不为风雨燥湿所移，未尝用铁者，盖有深意焉。律法既亡，金石又不足恃，则声不得不流，亦自然之理。

（补笔谈卷一：乐律 535 条）

【0316】

古乐钟皆扁（圆），如盒瓦。盖钟圆则声长，扁则声短。声短则节，声长则曲。节短处声皆相乱，不成音律。后人不知此意，悉为（扁）圆钟。急叩之多晃晃尔，清浊不复可辨。

（补笔谈卷一：乐律 536 条）

【0317】

琴瑟弦皆有应声：宫弦则应少宫，商弦即应少商，其余皆隔四相应。金曲中有（应）声者，须依此用之。欲知其应者，先调诸弦令声和，乃剪纸人加弦上，鼓其应弦，则纸人跃，他弦即不动。声律高下苟同，虽在他琴鼓之，应弦亦震，此之谓正声。

（补笔谈卷一：乐律 537 条）

【0318】

乐中有敦、掣、住三声。一敦一住，各当一字。一大字住当二字。一掣减一字。如此迟速琴瑟亦然。更有折声，唯合字无。拆一分、拆二分、至于拆七八分者皆是。举指有浅深，用气有轻重。如笙箫则全在用气，弦声只在抑按。如中吕宫一字、仙吕宫五字，皆比他调高半格，方应本调。唯禁伶能知，外方常工多不喻也。

（补笔谈卷一：乐律 538 条）

【0319】

律吕宫、商、角声各相间一律，至徵声顿间二律，所谓变声也。琴中宫、商、角皆用缠弦，至徵则改用平弦，隔一弦鼓之，皆与九徽应，独徵声与十徽应，此皆隔两律法也。古法唯有五音，琴虽增少宫、少商，然其用丝各半本律，乃律吕清倍法也。故鼓之六与一应，七与二应，皆不失本律之声。后世有变宫、变徵者，盖自羽声隔八相生再起宫，而宫生徵，虽谓之宫、徵，而实非宫、徵声也。变宫在宫、羽之间，变徵在角、徵之间，皆非正声，故其声庞杂破碎，不入本均，流以为郑、卫，但爱其清焦，而不复古人纯正之音。惟琴独为正声者，以其无间声以杂之也。世俗之乐，惟务清新，岂复有法度，乌足道哉。

（补笔谈卷一：乐律 540）

【0320】

律有实积之数，有长短之数，有周径之数，有清浊之数。所谓实积之数者，黄钟管长九寸，径九分，一黍实其中，其积九九八十一，此实积之数也，林钟长八寸，

径九分，八九七十二。余律准此。所谓长短之数者，黄钟九寸，三分损一，下生林钟，长六寸；林钟三分益一，上生太簇，长八寸。此长短之数也，余皆准此。所谓周径之数者，黄钟长九寸，围九分；林钟长六寸，亦围九分。余律准此。所谓清浊之数者，黄钟长九寸为正声，一尺八寸为黄钟浊宫，四寸五分为黄钟清宫。余律准此。

（补笔谈卷二：象数 549 条）

2.4《洞天清录》中的音乐科技史料①

宋代赵希鹄著，是一本专门考辩品评宋代文人清居玩好、鉴别古器具的著作。古琴辨 32 条；古砚辨 12 条；古钟鼎彝辨 20 条；怪石辨 11 条；砚屏辨 5 条；笔格辨 3 条；水滴辨 2 条；古翰墨迹辨 4 条，古今纸花印色辨 15 条；古画辨 29 条；共十章。音乐科技的史料存在于“古琴辩”中，主要论述了古琴在琴材方面的选择上的讲究，论述了古琴材料阴阳材的不同，会导致声音的不同；桐木、梓木的挑选、琴腹、琴足的形制和材料对琴的影响，还论述了琴所处的空间环境对琴的影响等等。可以看出宋代对古琴工艺的制作和保养上，已经有很高的认识。是研究古琴音乐科技的重要古籍。

【0401】古琴阴阳材

古琴阴阳材者：盖桐木面阳日照者为阳，不面日者为阴。如不信，但取新旧桐木置之水上，阳面浮之阴必沈，虽反复之再三，不易也。更有一验，古今琴士所未尝言“阳材琴：旦浊而暮清，晴浊而雨清，阴材琴：旦清而暮浊，晴清而雨浊”。此乃灵物与造化同机缄，非他物比也。

(洞天清录 · 古琴辩)

【0402】取古材造琴

古琴最难得于精金美玉。得古材者，命良工旋制之斯可矣。自昔论择材者曰：“纸甑、水槽、木鱼、鼓腔、败棺、古梁柱、榱桷”。然梁柱恐为重物压损纹理，败棺少用桐木，纸甑水槽患其薄而受湿气太多，惟木鱼鼓腔晨夕近钟鼓，为金声所入，最为良材。然亦有敲损之患。别有《择材往监》今陈述之云：“昔[吴]钱忠懿王能琴，遣使以廉访为名而实物色良琴。使者至天台宿山寺，夜闻瀑布声正在檐外，晨起视之，瀑下淙石处正对一屋柱，而柱且向日，私念曰：若是桐木则良琴处在是矣。以刀削之果桐也。即赂寺僧易之，取阳面一琴材驰驿以闻，乞俟一年斲成，献忠懿，一曰洗凡，二曰清绝，遂为旷代之宝。后钱氏纳土太宗朝，二琴归御府。南

① 所收集的史料来自:文渊阁四库全书本 • 子部 • 杂家类. 台湾商务印书馆发行

渡初，流转至雪州叶梦得上之”。此乃择材之良法，大抵桐材既坚而又历千余年，木液已尽，复多风日吹曝之，金石水声感入之，所处在空旷清幽萧散之地，而不闻尘凡喧杂之声，取以制琴，乌得不与造化为妙，以此观之，安琴之室亦当如是，不宜近尘秽妇女喧杂之地也。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0403】制琴不当用俗工

工人供斤削之役，若绳墨尺寸，厚薄方圆必善琴。高士主之，仍不得促办每一事，如槽腹、琴面之类，一事毕方治一事，必相度审思之。既斲削去，则不复可增，度造一琴并漆，必三月或半年方办。合底面必用胶漆，如皮纸厚，合讫置琴于卓上，横厚木于卓下，夹卓以篾丝缚之，依法匣讫，候一月方解。底灰必杂以金铜细屑或磁器屑，薄如连纸，候极干再上一次。面灰用极细骨灰如薄连纸，止一上并一月方干。面上糙漆仅取遮灰，光漆糙底，灰漆差厚无害。又，徽者绳也，準绳墨以定声，尤宜留意。岂俗工所能哉。制造之法，诸琴书备载，宜择其善者参用之。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0404】制琴不必求奇

湖南有范氏曾守土，号范连州，自能斲琴。今有一琴在折彦质参政家。其琴面乃用方二三寸许小桐木片，以胶漆辏成之，名曰百衲。弹之则与寻常低下，琴无异此何益哉。木不成段，声必不应。又为漆所碍，其窒塞可知。折氏至今宝之，尤可笑。今人或以琴材短不及或自岳之外别用桐木接之，亦不可也。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0405】古琴色

古琴漆色历年既久，漆光退尽。惟黯黯如海舶所货乌木，此最奇古。而或者以其无光，磨而再漆之，不惟顿失古意且滞琴之声，此大戒也。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0406】纯阳琴

底面俱用桐，谓之纯阳琴。古无此制，近世为之。取其暮夜阴雨之际，声不沈默必不能達，遠蓋声不实也。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0407】择琴底

今人多择面不择底。纵依法制之，琴亦不清。蓋面以取声，底以匮声。底木不坚，声必散逸。法当取五七百年旧梓木，锯开以指甲掐之，坚不可入者方是。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0408】桐木不宜太松

桐木太松而理疏，琴声多泛而虚。宜择紧实而纹理条条如丝线，细密条达不邪曲者，此十分良材。亦以掐不入为奇。其掐得入而麄疏柔脆者，多是花桐。乃今用作漆器胎素者，非梧桐也。今人多误用之。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0409】桐木紫色

桐木年久，木液去尽。紫色透里，全无白色。更加细密，方称良材。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0410】梓木多等

有楸梓：锯开色微紫黒，用以为琴底者也。有黄心梓：其理正类槠木而极细，黄白不堪，若作器用难朽，非琴材也。漆木亦类梓，盖取其漆液坚凝，古人亦以备材料湏，不经取漆而老大者方可用。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0411】琴腹

制琴腹宜安，凤足处须小厄之，过足则复寛之。蓋声过厄则不直达，过厄寛则复悠扬而出，所以韵长乃唐雷文秘法。此论琴腹横广也，面底皆然，于厄处空凿足。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0412】琴足

琴足宜用枣心、黄杨、及乌木，蓋取其坚实。足之下须令平如鐵切，忌尖与凹，足之柄与琴之凿必小大相当，毋差毫厘。若柄小而以纸副之，琴声必泛。岳轸、焦尾亦宜用此三等，木切不可以金、玉、犀、象为饰，多诲盗并为琴害矣。

（洞天清录 · 古琴辩）

【0413】雷张槽腹法

雷张，制槽腹有妙诀。于琴底悉洼微令如仰瓦。蓋谓于龙池凤沼之，弦徽令有唇。余处悉洼之，正如今铜钱之背，穿眼处有弦，凸起令声。有闟闭既取其面底，若如瓦相合而池沼之，唇又关闭不直达，故声有所匮而不散，岂论琴腹坚深也。余尝见毕文简公张越琴，于池沼间以指探之，果如此。

(洞天清录 · 古琴辩)

【0414】琴受土气

人之爱琴者殁，则戒子孙藏之塚，间或有用石匣者。复出而为世用，多是声沈闇闇然。蓋以受土气多，湿气胜耳。法当用大甑蒸之，以去湿气，一蒸未透再多蒸之，于风日处挂曝经月，声复矣。

(洞天清录·古琴辩)

【0415】琴案

琴案：须作维摩様，庶案脚。不碍人膝，连面高二尺八寸，可入膝于案下而身向前，宜石面为第一，次用坚木。厚者为面，再三加灰，漆亦令厚，四脚令壮，更平不假坫扱，则与石案无异。永州石案面固佳，然太薄，板须厚一寸半许乃佳。若用木面，须二寸以上，若得大柏大枣木，不用胶合，以漆合之尤妙。又见今人作琴桌，仅容一琴。须阔可容四琴，长过琴三之一，试以案较琴声便可见。琴案上切不可置香炉杂物于前，吴自强《云山集》云："于案面作小水槽不必尔也"。

(洞天清录·古琴辩)

【0416】琴室

前辈或埋瓮于地，上鸣琴，此说恐妄传。盖弹琴之室宜实不宜虚，最宜重楼之下。盖上有楼板，则声不散，其下空旷，清幽则声透彻。若高堂大厦则声散，小阁密室则声不达，园囿亭榭尤非所宜，若必幽人逸士于高林大木或岩洞石室之下。清旷之地，更有泉石之胜，则琴声愈清，与广寒月殿何异。

(洞天清录·古琴辩)

【0417】挂琴

挂琴不宜箸壁，有土气。惟纸糊格及漆格上当风处为妙。然须无人往来，小儿、妇女、猫犬所不到处，当挂时加袋以障尘。匣之则去袋。葢袋能引湿气，梅月须早入匣，以厚纸糊缝，安楼上阴凉处。琴匣之制须低矮窄小，仅可容此琴，葢令容受于口，仍钉铰加锁。若令僮仆抱琴，勿横抱，多前遇物触损云牙。不若于袋上作大襻，竖肩背后则不损，然襻须紧不可寛。

(洞天清录·古琴辩)

【0418】露下弹琴

露下弹琴而声不泛，葢阳材也。若钟鸣鸡唱，霜清月皎，以阳琴鼓之，声更清彻。阴材则不然 。

(洞天清录·古琴辩)

【0419】弹琴盥手

未弹琴先盥手。手泽能腻弦损声，夏月尤甚。唯早晚差凉宜弄琴，正午炎热非惟汗污，天气太燥亦难为弦，若阴凉处无害。

(洞天清录·古琴辩)

2.5《乐书》中的音乐科技史料[①]

作者陈旸，北宋时福建闽清人，陈旸始编《乐书》于神宗熙宁到元丰年间，历经40年。《乐书》是我国现存历史上第一部音乐百科著作。全书共200卷，分两大部分，第一部分《训义》是对以前经典书籍中有关音乐文字记载的解释；第二部分是有关乐律理论、乐器、声乐的阐述和看法，这部分除了有文字的叙述之外，还配以插图来说明，是研究音乐的重要文献之一。关于宋时期的音乐科技史料主要集中在本书的第二部分《乐图论》中，在记录乐器时陈旸为了让后人更直观的看到当时乐器的形制，特别附上图例，使我们对其乐器材料的形状、大小，制作的工艺等有所了解。是探求宋代乐器工艺的重要书籍。在声乐部分，陈旸也提出了科学的唱歌，发声的方法。在陈旸的著作中体现了其尊重音乐现实生活的学术态度和儒家文化思想。

【0501】

小华之山其阴多磬，鸟危之山其阳多磬，嵩山泾水出焉，其中多磬则磬石所自固，虽不一要之一适阴阳之和者，泗滨所贡浮磬而已，盖取其土少而水多其声和且润也。

（卷一百一十二·四）

【0502】

埙又作壎者金方而土圆，水平而火锐。一从熏火也，其彻为黑则水而已，从圆则土之形圆故也，或谓壎青之气，阳气始起万物暄动，据水上而萌始于十一月，成于立春象万物萌出于土中，是生土王四季所言，非主正位六月而言亦二说也。

（卷一百一十五·七）

【0503】

古者琴瑟之用，各以声类所宜云。和，阳地也，其琴瑟宜於圜丘奏之；空桑，阴地也，其琴瑟宜於方泽奏之；龙门，人功所凿而成也，其琴瑟宜於宗庙奏之。颛帝生处空桑，伊尹生於空桑，禹凿龙门，皆以地名之，则云和岂《禹贡》所谓云土者欤？瞽蒙掌鼓琴瑟。

（卷一百一十九·一）

【0504】

瑟，今太乐所用，亦二十五弦，盖得四代中瑟之制也。莊周曰："夫或改调一弦，于五音无当也。鼓之，二十五弦皆动。其信矣乎！"聂崇义《礼图》亦师用郭璞二十

[①] 所收集的史料来自《文渊阁四库全书》经部·类书类. 台湾商务印书馆发行.

三弦之说，其常用者十九弦，误矣。蓋其制前柱清，后其柱则浊。

（卷一百一十九 · 三）

【0505】

盖五弦之琴小琴之制也，两倍之而为十弦中琴之制也，四倍之而为二十弦，大琴之制也。

（卷一百一十九 · 九）

【0506】

十二弦琴　宋朝尝为十二弦琴，应十有二律，倍应之声，靡不悉备，盖亦不失先王制作之实也。

（卷一百一十九 · 十三）

【0507】

古者造琴之法，削以峄阳之桐，成以檿桑之丝，徽以丽水之金，轸以昆山之玉。虽成器在人，而音含太古矣。盖其制长三尺六寸六分，象期之日也；广六寸，象六合也。弦有五，象五行也；腰广四寸，象四时也；前广後狭，象尊卑也；上圆下方，象天地也；晖十有三，象十二律也，馀一以象闰也。其形象凤，而朱鸟南方之禽，乐之主也；五分其身，以三为上，二为下，参天两地之义也。

（卷一百二十 · 二）

【0508】

瑟者闭也，所以惩忿窒欲，正人之德也，故前其柱则清，却其柱则浊。

（卷一百二十 · 七 · 颂琴）

【0509】

盖箫之为管长则浊，短则清，以蜡密其底，而增损之然，后其声和矣。

（卷一百二十一 · 五 · 洞箫）

【0510】

先王之制管，所以道达阴阳之声。然阳奇而孤，阴偶而群；阳大而寡，阴小而众；阳显而明，阴幽而晦。孤竹之管与圜钟之宫，合以之降天神，取其奇而孤也；孙竹之管与函钟之宫合，以之出地示，取其少而众也；阴竹之管与黄钟之宫合，以之礼人鬼，取其幽而晦也。

（卷一百二十二 · 七）

【0511】

篪之为器，有底之，笛也暴辛公善之，非所作者也。大者尺有四寸，阴数也，

其围三寸，阳数也，小者尺有二寸，则全于阴数，要皆有翘以通气，一孔上达寸有二分，而横吹之。或容覆、或潜伏，篪为不齐者也。

（卷一百二十二·十一）

【0512】

万物盈乎天地之间，入乎坎，则革故而趋新，故其音革而为鼓；成乎艮，则始作而施生，故其音匏而为笙。古者造笙以曲沃之匏，汶阳之筱，列管匏中而施簧管端，则美在其中，锺而为宫，盖所以道达冲气，律中太蔟，立春之音也。故有长短之制焉，有六合之和焉。

（卷一百二十三·三）

【0513】

宋朝李照作巢笙，合二十四声以应律吕正倍之声，作和笙应笙竽，合清浊之声。又自制大笙上之太乐，亦可谓之复古制矣。今太常笙浊声十二，中声十二，清声十二，俗呼为凤笙。孟蜀王所进乐工不能吹，虽存而不用，比者按习清浊正三倍声，皆得相应，诚去四清声吹之，虽用之雅乐，亦恶在其为不可哉。

（卷一百二十三·四）

【0514】

拍板长阔如手掌，大者九板，小者六板，以苇编之。

（卷一百三十二·三）

【0515】

一三五为九，二四为六，九者阳数之穷，六者阴数之中，古埙六孔，用其方色，所以应六律出声也。宋朝大乐旧埙七孔，上下皆圆而髹之，以应七音而已，非先王雅乐之制也。

（卷一百三十七·二）

【0516】

琴之为器：有龙池者，以龙潜於此，其出则兴云雨以泽物，而人君之仁如之；有凤池者，以南方之禽其浴则归洁其身，而人君之德如之；有轸池者，亦曰轸丕，以其急於发令，且酒以成礼也。池侧有凫掌二，所以护轸之动而合制也。凤额下有凤嗉一，所以接喉舌而申令者也。琴底有凤足用黄杨木表其足色本黄也。临岳若山岳峻极，用枣木，表其赤心也。人肩者顾其臣，有俯就随肩之象也。凤翅者左右翼之，有副贰人主之象也。龙唇者声所由出也，龙龈者吟所由生也，龙口所以受弦而其鬓又所以饰之也。凤额所以制嗉，而其臆又所以承之也。总而言之，琴长三尺六

寸六分，当期之日也，腹中天地二柱，当心膂之任也，天柱方厚七分，居姑洗、仲吕之界；地柱方厚六分，居南吕、无射之界。若定位小差，近上则损上声，近下则损下声，当中心则其声品节矣。

（卷一百四十二·一·琴制论）

【0517】

琴之为乐，弦合声以作主，晖分律以配臣。自临岳际下，至龙口衔弦，以夷则为中界；夷则至临岳下际，以仲吕为中界；仲吕上至临岳下际，以太簇为中界。其夹锺、姑洗、蕤宾、林锺四晖，即泛调取定。又以太簇翻至龙口，而晖数足矣。自古徽十有三，其一象闰，盖用螺蚌为之。近代用金玉、瑟瑟、水晶等宝，未闻有弦绳之义，盖所以示其明莹以节奢纵而已。俗传晖作徽缠之徽，误矣。

（卷一百四十二·三·琴徽论）

【0518】

右七弦为正，十三晖为副，正副相应，一弦合十五种升降同为九十一声，琴含太虚，一气运九十种声，如此，其变亦已尽矣。至於取声之法，又有木有汎，有散有未，有剔有栎，有擘有绰，有瓅有龊，有伦以总之，诚去四清二变，以谐音律，则琴音调而天下治矣（左指按弦，因指打声振动左指令著面，右指击弦，隐隐如雷，是木声也。左微按弦，右手击弦，泠泠然轻清，是汎声也。左指不按不击弦，锵锵然如钟铎，是散声。左指按弦，右指打声，抑蹙向前後，令声下惆怅，是散声。右指向下末二三弦，左指不著，是末声。右指向上剔一弦，是剔声也。右食指第一横文向上，蹙栎二三弦毕举，其食指合势望天，是栎声也。右指向上擘一弦，为擘声。右指向下反剔一弦，为绰声。右指掐食指第二横文上向下击下弦，从宽至急，可十馀声，为瓅声。右两指各按一弦，齐声打，为龊声。右两指伦次共一弦，为伦声）。

（卷一百四十三·二·琴声论下）

【0519】

古之善歌者，必先调其气，其气出其脐间，至喉乃噫其词，而抗坠之意可得而分矣，大而不至于抗越，细而不至于幽散，未有不气盛而化神者矣。

（卷一百六十一·二·歌中）

2.6《词源》等其他著作中的音乐科技史料

《词源》[①]

① 所收集的史料来自：修海林.中国古代音乐史料集.西安，世界图书出版社西安公司，2000

宋元间词人张炎所著，是关于宋词创作和研究的总结，全书分上下两卷，共 30 个条目，其中上卷主要从音乐研究的角度，对五音十二律，宫调，管色、古代乐谱的译解等。关于音乐科技史料的部分主要出现在上卷，“讴曲指要”以歌诀的形式对演唱中的发音咬字进行了科学的总结，在下卷的“音谱”中也有涉及。

【0601】讴曲旨要

歌曲令曲四掯匀，破近六均慢八均。
官折艳折分轻重，七敲八掯靸中清。
大顿声长小顿促，小顿才断大顿续。
大顿小住当韵住，丁住无牵逢合六。
慢近曲子顿不叠，歌飒连珠叠顿声。
反掣用时须急过，折拽悠悠带汉音。
顿前顿后有敲掯，声拖字拽疾为胜。
抗声特起直须高，抗与小顿皆一掯。
腔平字侧莫参商，先须道字后还腔。
字少声多难过去，助以馀音始绕梁。
忙中取气急不乱，停声待拍慢不断。
好处大取气流连，拗则少入气转换。
哩字引浊啰字清，住乃哩啰顿囹圄。
大头花拍居第五，叠头艳拍在前存。
举本轻圆无磊块，清浊高下萦缕比。
若无含韵强抑扬，即为叫曲念曲矣。

（词源·卷上）

【0602】音谱

盖五音有唇齿喉舌鼻，所以有轻清重浊之分，故平声字可为上入者此也。听者不知宛转迁就之声，以为合律，不详一定不易之谱，则曰失律。矧歌者岂特忘其律，抑且忘其声字矣。述词之人，若只依旧本之不可歌者，一字填一字，而不知以讹传讹，徒费思索。当以可歌者为工，虽有小疵，变庶几耳。

（词源·卷下）

《唱论》[①]

元燕南芝庵撰，是我国歌唱艺术的第一部理论性著作，书中对宋元以来，戏曲、

[①] 所收集的史料来自：傅惜华.古典戏曲声乐论著丛书. 北京，音乐出版社，1962

歌曲的演唱方法，格调，进行了细致的论述，并对唱歌中经常出现的毛病提出了解决的办法，对研究宋元时期音乐歌唱声学提供了宝贵的资料。

【0701】

歌之格调：抑扬顿挫，顶叠垛换，萦纡牵结，敦拖呜咽，推题丸转，捶欠鳄透。

【0702】

歌之节奏：停声，待拍，偷吹，拽棒，字真，句笃，依腔，帖调。

【0703】

凡歌一句，声韵有一声平，一声背，一声圆，声要圆熟，腔要彻满。

【0704】

一曲中，各有其声：变声，敦声，杌声，啀声，困声，三过声；有偷气，取气，换气，歇气，就气；爱者有一口气。

【0705】

大凡声音，各应于律吕，分于六宫十一调，共计十七宫调：仙吕调唱，清新绵邈。南吕宫唱，感叹伤悲。中吕宫唱，高下闪赚。黄钟宫唱，富贵缠绵。正宫唱，惆怅雄壮。道宫唱，飘逸清幽。大石唱，风流酝藉。小石唱，旖旎妩媚。高平唱，条物滉漾。 般涉唱，拾掇坑堑。 歇指唱，急并虚歇。商角唱，悲伤宛转。双调唱，健捷激袅。商调唱，凄怆怨慕。角调唱，呜咽悠扬。 宫调唱，典雅沉重。越调唱，陶写冷笑。

【0706】

凡人声音不等，各有所长。有川嗓，有堂声，背合破箫管。有唱得雄壮的，失之村沙。唱得蕴拭的，失之乜斜。唱得轻巧的，失之闲贱。唱得本分的，失之老实。唱得用意的，失之穿凿。唱得打掏的，失之本调。

【0707】

凡歌节病，有唱得困的，灰的，涎的，叫的，大的。有乐官声，撒钱声，拽锯声，猫叫声。不入耳，不着人，不撒腔，不入调，工夫少，遍数少，步力少，官场少，字样讹，文理差，无丛林，无传授。嗓拗。劣调。落架。漏气。

《欧阳修集》[①]

【0801】《三琴记》

吾家三琴，其一传为张越琴，其一传为楼则琴，其一传为雷氏琴，其制作皆精而有法，然皆不知是否，要在其声如何，不问其古今何人作业。琴面皆有横纹如蛇

① 所收集的史料来自：《国学备要》集部·别集.中国国学时代文化传播有限公司

腹，世之识琴者以此为古琴，盖其漆过百年始有断纹，用以为验尔。其一金晖。其一石晖，其一玉晖。金晖者，张越琴也；石晖者，楼则琴也；玉晖者，雷氏琴也。金晖，其声畅而远；石晖，其声磬实而缓；玉晖。其声和而有余。

（欧阳修集 · 卷六十四 · 居士外集 · 卷十四）

【0802】

国朝雅乐，即用王朴所制《周乐》。太祖时，和岘以为声高，遂下其一律。然至今言乐者，犹以为高，云今黄钟乃古夹钟也。景祐中，李照作新乐，又下其声。太常歌工以其太浊，歌不成声，当铸钟时，乃私赂铸匠，使减其铜齐而声稍清，歌乃协而成声。而照竟不知。以此知审音作乐之难也。照每谓人曰："声高则急促，下则舒缓，吾乐之作，久而可使人心感之皆舒和，而人物之生亦当丰大。"王侍读洙身尤短小，常戏之曰："君乐之成，能使我长乎？"闻者以为笑。而乐成，竟不用。

（欧阳修集 · 卷一百二十六 · 归田录 · 卷一）

【0803】

太常所用王朴乐，编钟皆不圆而侧垂，自李照、胡瑗之徒皆以为非。及照作新乐，将铸编钟，给铜于铸泻务，得古编钟一枚，工人不敢销毁，遂藏于太常。钟不知何代所作，其铭曰："粤朕皇祖宝龢钟。粤斯万年，子子孙孙永宝用。"叩其声，与王朴"夷则清声"合，而其形不圆而侧垂，正与朴钟同，然后知朴博古好学不为无据也。其后胡瑗改铸编钟，遂圆其形而下垂，叩之掩郁而不扬，其镈钟又长甬而震掉，其声不和。著作佐郎刘羲叟窃谓人曰："此与周景王无射钟无异，必有眩惑之疾。"未几，仁宗得疾，人以羲叟之言验矣。其乐亦寻废。

（欧阳修集 · 卷一百二十六 · 归田录 · 卷一）

《葵辛杂识续集》[①]

【0901】

"琴间指以一与四、二与五、六（与四）、四与七为应。今凡动第一弦，则第四弦自然而动。试以羽毛轻纤之物，果然。此气之自然相感动之妙。"

（卷上 · 琴应弦）

《春渚纪闻》[②]

【1001】

缓其商弦，与宫同音。

---

① 所收集的史料来自：文渊阁四库全书本 • 子部 • 小说家类.台湾商务印书馆发行
② 所收集的史料来自：文渊阁四库全书本 • 子部 • 杂家类.台湾商务印书馆发行

（卷 8 · 杂书琴事 · 辩广陵散）

《张载集》[①]

【1101】

声音，形气相扎而成。两气者，谷响、雷声之类；两形者，桴鼓叩击之类；形轧气，羽扇、敲矢志类；气轧形，人声、笙簧之类。是皆物感之良能，人皆习之而不察。

（张载集 · 正蒙 · 动物篇 · 第五）

王黼《重修宣和博古图》[②]

【1201】

古之乐钟形范非圆 干于簴，而叩之牢结不动，后世圆其制，而虚系以直垂，指其考击，则摇曳而生余音，失之远矣。

（卷 23 · 周大编钟）

《琴论》[③]

【1301】

指法遒劲则失于太过，懦弱则失之不及，是皆未探古人真意。惟优游自得，不为来去所窘，乃为合道。取声忌用意太过，太过则失真，操者亦不觉，惟旁观者乃知。……京师、两浙、江西能琴者极多，然指法各有不同，京师过于刚劲，江南失于轻浮，惟两浙质而不野，文而不史。此法人多不知，惟三人对弹，可较优劣。所谓“弹欲断弦，按欲入木”，贵气持重，然亦要轻重、去就皆当乎理，乃尽其妙。不然，但竞乎音响，非能琴者也。

《琴书大全》[④]

【1401】

世之传琴者，必曰长三尺六寸象期之日，十三徽象期之月，居中者象闰，伏羲以来未有甚辩者。至唐协律郎刘贶谓之乐之旨也，其详杳无得而焉。又以乐器配诸节候，而谓琴为夏至之音。于泛声，卒无述者，愚尝病之。因以张弓附案，泛其弦而十三徽声具焉，况琴之弦乎！是知非所谓象者，盖天地自然之节耳，又岂止夏至之音而已。

（琴书大全 · 第一卷 · 序琴十 · 崔遵度琴笺）

[①] 所收集的史料来自：《国学备要》集部 • 别集. 中国国学时代文化传播有限公司
[②] 所收集的史料来自：文渊阁四库全书 • 子部 • 谱录类.台湾商务印书馆发行.
[③] 所收集的史料来自：修海林.中国古代音乐史料集.西安.世界图书出版社西安公司,2000
[④] 所收集的史料来自：李玫.东西方乐律学研究及发展历程.北京.中央音乐学院出版社,2006.84-85

【1402】

一法自岳至龈均分为二，其折断处为琴之半。为至中处正是七徽，为立徽之本。又以其二各均分之，其折断处又为半，为中，其在上者为四徽，其在下者为十徽。又以其所分之半，自四徽至岳，自十徽至 各均分之。其折断处又皆为半，为中，在四徽之上者为一徽，十徽之下者为十三徽。又至岳至龈均分为五，以五之中，其两端之折断处为附近于七之中，在七徽上者为六徽，在七徽下者为八徽。又自六徽上至岳，自八徽下至龈均分之，其折断处又各为半，为中，在两端之折断处亚于六与八之为附近于七之中，在六之上者为五徽，在八之下者为九徽。又自五徽至岳，九徽至龈均分之，其折断处又各为半为中，在三徽上者为二徽，在十一徽下者为十二徽。

（琴书大全·第四卷·琴制九·安徽法）

《琴史》[①]

【1501】

昔者伏羲氏既画八卦，又制雅琴。卦所以推天地之象，琴所以考天地之声也。天地之声出于气，气应于月，故有十二气。十二气分于四时，非土不生。土王于四季之中合为十三，故琴徽十有三焉。其中徽者，土也。月令，中央土，其音宫，律中黄钟之宫者是也。故中之徽之声，洪厚包容，为众徽之君。由中徽左右各六徽，徽有疏密者，取其声之所发，自然之节也，合于天地之数。故律之相生有上下，而为管有长短，盖取诸此也。凡天地、五行、十二气、阳律阴吕、清浊高下，皆在乎十三徽之间。尽十三徽之声，惟三尺六寸六分之材可备。

（《琴史》卷六：莹律）

【1502】

圣人观五行之象丽于天，五辰之气运于时，五材之形用于世，于是制为宫、商、角、徵、羽，以考其声焉。凡天地万物之声，莫出于此五音。故最浊者谓之宫，次浊者谓之商，清浊中者谓之角，徵清者谓之徵，最清者谓之羽。宫为土，为君，为思；商为金，为臣，为义，为言；角为木，为民，为仁，为貌；徵为火，为事，为礼，为视；羽为水，为物，为智，为德。

（《琴史》卷六：释弦）

[①] 所收集的史料来自：修海林.中国古代音乐史料集.西安.世界图书出版社西安公司,2000

第三章 宋元时期音乐科技主要成果

通过本文第二部分对所收集到的宋元时期音乐科技史料的整理和统计，本章将在此基础上对其做进一步的分析，探讨宋元时期音乐科技取得的主要成果，具体表现在音乐声学、、音乐自然科学思维、乐器工艺学、音乐数学、音乐力学等方面。

3.1 音乐声学

如前所述，宋元时期的人们在音乐方面曾有重要的进展，在音乐声学中也有不小的成果，其中乐器声学 28 条，空间声学 2 条，歌唱声学 11 条。具体分析如下：

3.1.1 乐器声学

宋元时期音乐史中，器乐音乐的发展是突出的，这一时期，由于弦乐器和管乐器引入乐队，使民族乐队达到完善的地步，在乐队发展的背后，对乐器科技的研究是一个至关重要的因素，为了改进乐器，宋元时期人们从乐器发声的原理方面探讨，他们对乐器共鸣现象也进行了细致的观察，重点研究了弦振动，板振动，壳振动、管振动及共振的原理对乐器的影响，并对乐器分类法也有了新的提法。

1、弦振动

弦振动频率与弦的长短，张力的大小，线的密度都有关系，也就是说改变其中的任何一个数值，弦振动的频率都会有所不同。物体每秒钟振动的次数称为“频率”[①]，物体振动的频率与音乐的音高有直接的联系。当弦的长短、线的密度不变的情况下，改变弦的张力，我们就可以得到另一振动的频率值，这个值与弦的张力成正比。在宋代何薳《春渚纪闻》【1001】说“缓其商弦，与宫同音”。就是说把商弦松一松，使之张力变小，它的音高就会随之降低，就可以调到与宫音相同的高度，这种方法正是宋人常用的调弦方法之一。同理在张力和弦长不变的情况下，改变弦的密度也可以改变音调的高低，具体为密度与音调成反比，这种情况在诸多弦乐器中可以得到证实，在宋沈括的《补笔谈》【0319】中就有记载“琴中宫、商、角皆用缠弦，至徵则改用平弦，隔一弦鼓之，皆与九徽应，独徵声与十徽应，此皆隔两律法也。古法唯有五音，琴虽增少宫、少商，然其用丝各半本律，乃律吕清倍法也。”宋代就有用“缠弦”和“平弦”的方法来改变弦的密度，以此来达到改变音高的目的，（缠弦：指在弦线外在用线缠绕的弦；平弦：是不再弦线外不用线缠绕的弦。）也就是说弦越粗弦振动的频率就小，音调就越低，反之亦然。这种现象在现代的钢琴中就是一个运用。

[①] 韩宝强. 音的历程—现代音乐声学导论.北京,中国文联出版社, 2003.89

弦的振动还涉及到琴律的问题，从物理学的角度来看，对于弦长、线密度、张力一定的前提下，弦的两端固定时，弹全弦的中央，这时的波长是最长的，相应的频率也较低，叫基频[①]，也就是音乐中的基音。但弦的振动除了振幅最大的原振动之外还有振幅较小的振动，这些振动又把弦分为二分之一、三分之一等进行各自的振动，产生的频率也越来越高，叫泛频，也就是泛音。古琴的琴律就是利用这一原理来实行安徽，"琴律说"最早是由南宋时期的朱熹提出的，在他的《琴律说》中【1402】：就记载了古琴安徽的步骤，将长期的琴律的实践经验转变上升为理论。在【1401】、【0314】中提出的"天地自然之节"、"泛声"、"泛韵"的说法，说明宋元人们对琴的分段振动有了一定的认识，并能使其运用到实践中，从长期的实践上升到理论的高度。

2、壳振动

壳振动主要运用在金类乐器之中，在这方面，宋时期的成就比以往不足，早在8000年前我国就有了双音钟的制造技术，但到宋时，由于经过五代十国战乱之后，熟知编钟技术的人越来越少，导致宋代发生了关于编钟形状和悬挂方式的大争论，这场争论在《宋史·乐志》【0119】、欧阳修《归天录》【0803】中均有记载：争论发生在皇佑年间，乐工制的编钟"皆不圆"而且"侧垂"，李照和胡瑗认为不是，随即改为"圆其行而下垂"但所发之声"郁而不扬，声不和"，后来直到人们"及得宝龢钟，其状正与朴钟同，"才平息了这场争论，沈括最后对此也有描述【0316】"古乐钟皆扁，如盒瓦。盖钟圆则声长，扁则声短。声短则节，声长则曲。节短处声皆相乱，不成音律。后人不知此意，悉为（扁）圆钟。急叩之多晃晃尔，清浊不复可辨"。可以看出沈括已经认识到圆形钟和扁形钟的优缺点，并做了明确的说明，圆形的钟不可"急叩"，如此发出的声音则"晃晃尔""清浊不复可辨"。用现代物理学的观点看，就是圆形钟和扁形钟"阻尼振动"的不同，阻尼振动是振动物体的振幅随着时间延续而衰减的振动，这种振动主要受到来自材料性质、几何形状和外部阻力的影响[②]。圆形的钟由于受到的空气的压力加大，振动的衰减就会减慢，其阻尼振动就会加大，这样就不适于演奏快节奏的旋律。而扁形的钟相对于圆钟来看，阻尼振动小，得出的结论便是"扁则声"。壳的厚薄对发声乐器的声音的影响，在当时已有一定的认识，【0119】【0802】记载太常的乐工发现李照的新乐"病其太浊，歌不成声，"随之"私赂铸工，使减铜齐，而声稍清"，消减钟的厚度，减少铜齐的使用可以使钟的

---

① 百度搜索: http://202.38.220.14:8080/pe/shiyanjx/exp1/01pri.htm
② 韩宝强: 音的历程——现代音乐声学导论. 北京, 中国文联出版社, 2003.88

发声音调随之降低。

钟类乐器的形状决定了其所发声音的余音比别的乐器要长，在演奏实践中，宋代对其有了很好的认识并予以了实践的指导中，主要是在演奏中要注意节奏的把握，在《宋史·乐志》卷128【0121】中载“三曰金石夺伦。乐奏一声，诸器皆以其声应，既不可以不及，又不可以有余。今琴、瑟、埙、篪、笛、箫、笙、阮、筝、筑奏一声，则镈钟、特磬、编磬连击三声；声烦而掩众器，遂至夺伦，则镈钟、特磬、编钟、编磬节奏与众器同，宜勿连击。”钟类乐器在与其他乐器合奏时，由于其余音长，“宜勿连击”。要最大限度的发挥其优点。在宋代对钟类乐器如形状、大小、厚薄不同都会影响其发声的效果还处于探索的阶段，还没有具体的数值，但对壳振动规律的探索又向前迈出一大步。

3、板振动

板振动的乐器在宋元时期也颇为丰富，宋元人们已从实践中认识到各种乐器板振动的规律，对影响板振动的因素有了清晰的认识。板振动是板在受到外力后，会产生变形偏离平衡位置，而板的弹性恢复力的作用有使之返回并越过平衡位置，随之作惯性振动[①]。板振动在现在的物理学角度看，与板的厚度、半径、材料的密度等有关。磬的记载就有很多。

①宋元时期对影响磬板振动的因素，即长度和厚度，已经给予了高度的重视。沈括《梦溪笔谈》卷五【0304】在反驳李嗣真求磬时说“声在短长厚薄之间”；《宋史》128卷【0125】“磬，石也，天成之物也。以其律为之长短、厚薄，而其声和，此出于自然”。

②对如何改变磬的长短厚薄来改进发声的音调还处于探索的阶段。这从宋时期发生的几次有关的争论可以得出。《宋史》卷128【0125】“今之十二磬，长短、厚薄皆不以律，而欲求其声，不亦远乎？”又有【0122】“太常磬三等，王朴磬厚，李照磬薄，惟阮逸、胡瑗磬形制精密而声太高，以磬氏之法摩其旁，轻重与律吕相应。”

③对磬的形状不单单局限在古以前的形状，出现了圆磬，如徐州雪山寺圆磬（图3.1[②]）。在材料上也有了新的探索，已经有铁磬，铜磬、玉磬等。

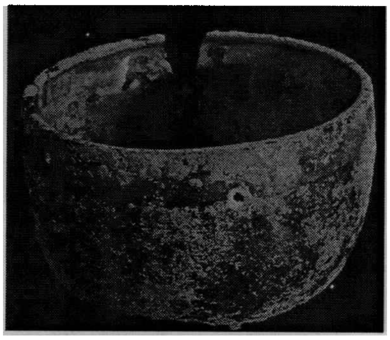


图 3.1 徐州雪山寺圆磬

方响也属于板振动的乐器，在《补笔谈》【0315】

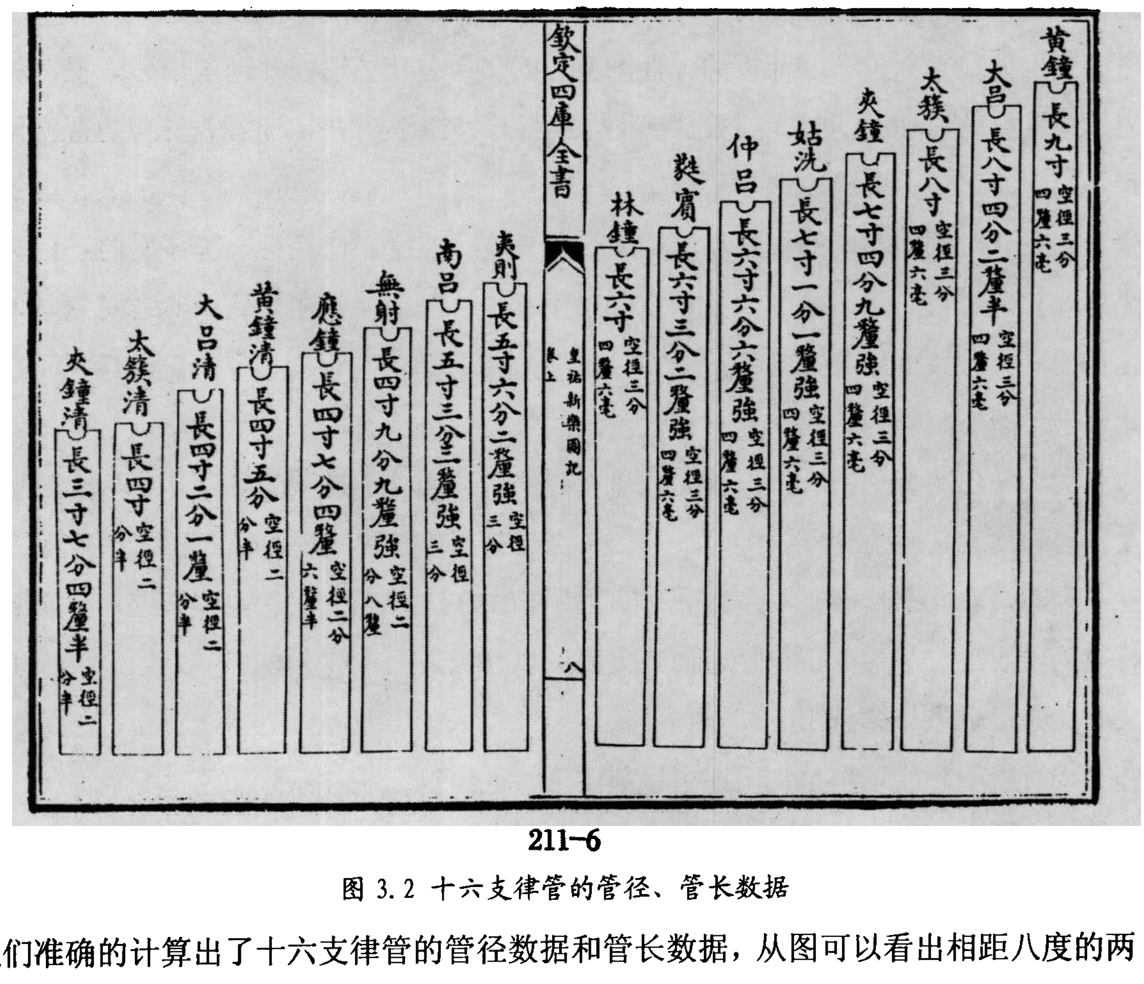
[①] 韩宝强：音的历程—现代音乐声学导论 北京：中国文联出版社 201

[②] 中国音乐文物大系总编辑部. 中国音乐文物大系·上海、江苏卷. 河南，大象出版社，1996.

中说："铁性易缩，时加磨莹，铁愈薄而声愈下。乐器须以金石为准；若准方响，则声自当渐变。"宋人已认识到方响的厚度和其原材料铁自身的特性，影响其音调的高低，也就是说板越薄时，频率就越低，自然"声愈下"。

4、管振动

宋代管乐器品种繁多，据陈旸《乐书》记载有双管、七星管、双凤管、拱辰管、尺八管、骆驼管等，宋元时期对管的发声原理有了很好的认识，根据不同的需求做不同的管。如【0509】在讲到洞箫中说：管长则浊，短则清。说明管振动是靠管内的空气振动来发声的，管内空气柱的长短对管乐器的音高有着很大的影响。管又有开管和闭管之分，"开管"是指两端开口的管乐器，从一端送气发声，"闭管"则指一端开口，另一端封闭的管乐器，从开口处送气发声[①]。宋元时期对这两种管的发声已有了清楚的认识，在开管乐器中主要是对律管有了精确的数字表明，在《皇佑新乐图记》卷上中写道："今以古今律数制成中声律十有二管，清声律四管，并画图指示说明（图 3.2[②]），



211-6

图 3.2 十六支律管的管径、管长数据

他们准确的计算出了十六支律管的管径数据和管长数据，从图可以看出相距八度的两

---

① 韩宝强.音的历程—现代音乐声学导论. 北京，中国文联出版社. 2003. 154

② 文渊阁四库全书・子部・类书类. 台湾商务印书馆发行.

管（如黄钟和清黄钟）的管长为 1:2，律管的音调越高，它的管径相对越小，长度相对越短，这是中国历史上第一次详尽记述不同管径的全套定律器[①]。

5、共振是乐器声学的一个重要的现象，它对于古代乐器的调音、解释各种“奇怪”的现象以及对演奏的指导都起着很大的作用。在宋元时期，人们已把共振很好的运用于实际中，共振就是两种同类或不同类的物体，当一物振动的固定频率达到一致或接近另一物的频率，或两者的频率是一个简单分数比时，另一物体也随之整动。从收集的文献记载看，可以把共振从共振材料的不同，可大致分为琴（瑟）内部共振，管弦共振、磬弦共振。

①琴（瑟）内部的振动，最大的实践意义是用于调音，沈括《补笔谈》卷一【0317】“琴瑟弦皆有应声：宫弦则应少宫，商弦即应少商，其余皆隔四相应。金曲中有（应）声者，须依此用之。欲知其应者，先调诸弦令声和，乃剪纸人加弦上，鼓其应弦，则纸人跃，他弦即不动。声律高下苟同，虽在他琴鼓之，应弦亦震，此之谓正声。”说的就是定弦的问题，在弹宫（1）时，少宫（$\dot{1}$）所在的弦应该也振动，弹商（2）弦时，少商（$\dot{2}$）也亦振动。因为没有（4）音，其他的音就是“隔四相应”，其“相应”的频率比按现在的计算是 1:2，这也叫八度共振，在现在的钢琴调律中也经常用到这种方法，尤其是在校准低音弦时。在这段文字中，沈括还记述了演示共振的实验方法，在“先调诸弦令声和”的前提下，如把纸人夹在宫弦上，弹少宫时，纸人会跳跃，如把纸人放在别的弦上，纸人是不会跳的。这就以形象而又具体的演示，让人们看到了共振现象的发生。

在《宋史》卷 142【0144】中也有记载，“调弦之法：……每疑七弦隔一调之，六弦皆应于第十晖，而第三弦独于第十一晖调之乃应。……其六弦会于十晖，则一与三者，角与散角应也；二与四者，徵与散徵应也；四与六者，宫与散少宫应也；五与七者，商与散少商应也；其第三、第五弦会于十一晖，则羽与散羽应也。义各有当，初不相须，故不同会于一晖也”。意思大概是一弦清角与三弦的散清角相振动，二弦的徵与四弦的散徵相振动……以此振动之法来调各弦的音准。这种定弦的方法在宋代具有一定的代表性，但还是存在某些方面的不足，处于探索的阶段。

周密《葵辛杂识续集》卷上《琴应弦》【0901】“琴间指以一与四、二与五、六与四、四与七为应。今凡动第一弦，则第四弦自然而动。试以羽毛轻纤之物，果然。此气之自然相感动之妙。”说明当时已认识到音程的五度关系，并对琴上五度共振做了实验。

---

① 戴念祖.中国物理学史大系・声学史. 长沙, 湖南教育出版社. 2000. 351

②管弦振动的现象主要在：《笔谈》卷六【0310】，沈括清楚的记述了用管定弦的方法，用管色的“合”与琴的宫弦相应（第一根弦散音），然后以宫弦为准下生徵音（第四根弦散音），又以徵弦为准上生商音（第二根弦散音），上下相生，结束在商的高八度少商上（第七弦），即可定弦。

《宋史·乐志》【0143】再谈到朱熹定律之法时说“按古人以吹管声傅于琴上，如吹管起黄钟，则以琴之黄钟声合之；声合无差，然后以次遍合诸声，则五声皆正。”已知道到管和弦在频率相同时会发生共振的，并重视以管定弦的实用的价值。

沈括还用管弦共振的原理解释了发生在友人家的事件【0311】，“友人家有一琵琶，置之虚室，以管色奏双调，琵琶弦辄有声应之，奏他调则不应，宝之以为异物。”沈括解释到：燕乐二十八调中凡是声音相同的都能产生共鸣，如果走遍二十八调而不产生共鸣，就是“逸调声”，也就是说是二十八调之外的音了，其实这就是一简单的物理现象。

③宋元时期还发现了磬与弦线泛音共振的现象，据《补笔谈》卷一【0314】记载，“所谓正声者，如弦之有十三汎韵，此十二律自然之节也。盈丈之弦，其节亦十三；盈尺之弦，其节亦十三。故琴以为十三徽。不独弦如此，金石亦然。《考工》为磬之法，已上则磨其耑，已下则磨其旁，磨之至于击而有韵处即与徽应，过之则复无韵；又磨之至于有韵处，复应以一徽。石无大小，有韵处亦不过十三，犹弦之有十三泛声也。此天地至理，人不能以毫厘损益其间。近世金石之工，盖未尝及此。不得正声，不足为器；不得中声，不得为乐。”意思是满一丈的琴有十三个泛音，满一尺的琴也有十三个泛音，所以琴上有十三徽，不仅琴弦是这样，金石类乐器也是，如磬的制造时，音高就磨磬的两端，音底就磨磬的旁侧，磨到敲击时与琴上的徽位有泛音相应，磨多了没有泛音，继续磨又与另一徽位相应。金石类乐器与琴一样都有十三个泛音，这是自然的规律。

6、乐器的分类法

关于乐器的分类法，早在西周时期就有记载，这种分类方法是按物质材料的不同来划分的，就是我们所说的八音：金、石、土、革、丝、木、匏、竹，由于各种材料的音品都不同，所发的音色就不同，从音色的角度看，这样的分类其合理性是存在的。宋代的张载突破了固有的思维，较系统的提出了更有物理意义的声音分类的方法，他把声音分为了四类“两气者”、“两形者”、“形轧气”、“气轧形”，可以清楚的理解到北宋时期对振动已经有了进一步的认识，不只局限在物体本身振动，扩大到了气流之间，气流和物体之间的摩擦振动。对后世的宋天星有了一定的影响。

综上所述，宋元时期对乐器声学的认识已经有了突破性的认识，虽然存在着认识的缺陷，但也是在对前人认识基础上具有了创新性的提法。在编钟、编磬等类乐器的声学原理上，处于摸索，探索的阶段，在一定的程度上需要借助于当时金石学的成果进行验证。

3.1.2 歌唱声学

宋元时期我国的音乐艺术形态由隋唐时期的宫廷音乐形式转向了民间艺术，使曲子的发展大放光辉，宋词就是在唐代曲子之后的又一次发展，出现了多种流派，有豪放派、婉约派。创作的手法是依谱填词和自度曲，随着宋元艺术歌曲实践的发展，民间的艺人对唱法进行了科学的总结，对现在的声乐教学具有重要的现实意义。从这方面的史料记载中看出宋元时期对歌曲风格的把握和歌唱技巧的掌握，已有了一定的高度和深层次的理解。主要体现在：

1、咬字、行腔上有了科学的认识，在宋元歌唱者就非常重视咬字、吐字、归韵等的问题，认为这是唱好歌曲的关键。《唱论》中说“凡歌一句，声韵有一声平、一声背，一声圆”，歌唱和语言是息息相关的，要想字正首先就必须注意声母与韵母的发声清晰，“声”、“背”、“圆”指声音的音调，把二者结合好，就可以做到“声圆熟、腔彻满”。沈括在“善歌者语”中说唱歌要做到“声中无字、字中有声”，在整首歌曲的始末咬字、吐字要始终轻巧而且圆润，要与歌曲的旋律融入一起。在歌曲转换的地方，不能要连贯圆润，“无磊块”。张炎在歌诀中也强调，“举本轻圆无磊块”，这其中也道出了另一番道理，及唱歌时“字正”、“腔圆”，不要把字咬的太死，要讲究不同位置的发音的问题，沈括把五音（宫、商、角、徵、羽）与五字（唇、舌、齿、牙、喉）相吻合。在《宋史》【0103】中也有记载，“开口吐声谓之商……声出齿间谓之角……齿合而唇启谓之徵……齿开唇聚谓之羽”， 可见宋元时期对唱歌咬字要分清“唇、喉、齿、牙、舌”以及这些部位的开口大小对咬字的影响已有很清楚的认识。

2、对发声法的科学把握，就是可以做到“字中有声”，用现代的话就是在身体内建立好管道，把声音放在管道内来歌唱，在意念上形成一条“管子”，在管子里唱称为“内里唱”，这是一种很难的技巧，但凡学声乐者，只要掌握这一技巧，便可一鸣惊人。在我国宋代就意识到这种方法的重要，可见在唱论方面的研究可谓之深也。

从声学的角度看，歌唱的原理就是，通过气息振动声带，使其发声，同时通过腔体（包括口腔、鼻腔、胸腔、头腔等）的共鸣来达到发声。气息是歌唱发声的本原，体现着重要的作用。在宋元关于呼吸及发声方法上也有记载，《乐书》【0523】

中说，善歌者，必先调其气，其气出脐间，至喉乃噫其词，而抗坠之意可得而分矣。这几句话道出了运气唱歌的真正要领是“气出脐间”，“脐间”就是歌唱术语中所说的“丹田”，准确的说这是呼吸方法的一种，称为“腹式呼吸”，是身体机理的变化，而不是真正的“气”，是通过身体的调整把横膈膜变平，使胸部扩大，吸入的气更多，小腹突出，当呼气时，腹部收缩，与横膈膜的收缩的状态产生对抗，这就是“抗坠之意”，从而达到声音位置的统一和稳定。今天的我们可以通过声学仪器的测量来形象的理解，而古人则通过平时经验的积累准确的描述“气沉丹田”这科学之法，对今天的声乐的教学具有现实的指导意义。对歌唱气息的调整也有记载，【0601】“忙中取气急不乱，停声代拍慢不断。好处大取气流连，拗则少入气转换”是说在歌词多拍子快的时候，要偷偷的换气，在遇到句子长，没地方换气时，要事先吸足气，或者在合适的地方小换气。但都要顾及曲调的连贯性，和歌曲感情的表达。《唱论》【0704】中说：“有偷气、取气、换气、歇气、就气”也说的是对气息的运用和把握，只有练好气息才能唱好曲。

3、声音条件的科学运用，每个人的声带和条件各不相同，这就决定不同的人发出的音色又不一样，《唱论》【0706】对此也有研究，“有川嗓、有堂声，背合破箫管。有唱的雄壮的……”从声学的角度看，由于人的声带的宽窄薄厚不同，引起的频谱、波动音、音域和音色方面的差异。就出现了“川嗓”（尖细的声音）、“堂嗓”（宽厚的声音），并对其做了进一步的阐释，燕南芝庵还建议唱歌者根据自己声音的条件，唱出自己的风格，发挥出自己最好的声音。

综上所述，宋元以来由于文化的转型，使得歌唱、唱戏、说书、咏词得到了很大的发展，这些都离不开对歌唱声学，离不开用声之功，促使歌者非常注重对文字的艺术雕琢、对韵辙的要求，可见宋元时期我国的歌唱艺术是在音乐文化转型的推动和促进下有了一定的发展，这种发展的成果离不开实践经验的总结，是以后明清、乃至现代歌唱声学发展的转折阶段，也是非常重要的阶段。

3.1.3 空间声学

宋元时期是我国音乐的转型时期，音乐艺术的主导形态由隋唐时期的宫廷音乐转入了世俗音乐，由歌舞大曲的形式转向了戏曲。宋元时期是我国戏曲史上的发展的辉煌时期，戏曲是戏台的灵魂，而戏台是戏曲的载体。从现存的文物来看，我国宋元时期的戏台蕴含着丰富的科学技术。

在宋元以前，音乐艺术的表演场合主要是：宫廷室内的演出和空旷广场上的演出，演出的规模较小，听众的数量较少。到宋元时期，由于社会经济趋于稳定，商

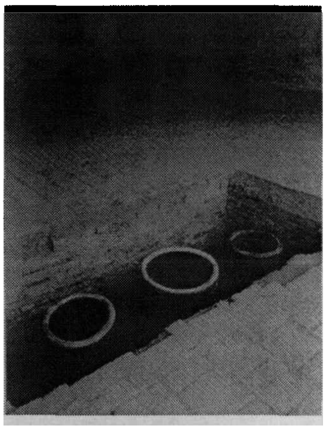


图 3.3 山西南部当代舞台建筑下的深抗和陶瓮

品经济的繁荣和市民阶层的逐渐壮大，以及政府政策的改变等因素促进了音乐艺术的发展，戏曲在这一时期到了蓬勃的发展，承载戏曲演出的舞台随之有了完善，由极普遍的“露台”到木石结构的“舞厅”、“舞楼”等，舞台的设计也越来越为听众考虑，并加强对其的研究，发现了很多能使音乐产生共鸣的手段，其中在戏台的台底挖洞，在洞中放瓮，（图 3.3[①]）通过此办法增大音量就是其中之一，尽管在当时没有得到理论的实证，但在实践中已经得到非常广泛的应用。说明当时对共鸣器的作用有了很好的认识，共鸣器是可以和外界声源发生共振的中空器物。这种中空的器物的作用是，当周围的声音在传播过程中，一部分声能就传入空穴，并在空穴中的界面进行多次的声音反射，将所传声音放大。

在宋赵希鹄《洞天清录集》【0416】中记载宋人对古琴演奏空间的要求，“盖弹琴之室，……最宜重楼之下”或者是“高林大木或岩洞石室之下”这样琴的声音就能更透彻，“琴声愈清”。也说“高堂大厦，则声散；小阁密室，则声不达园囿亭榭，尤非所宜。”可见赵希鹄也意识到周围物体对声音的反射，可以起到增大声音的作用，让听众听的更加清晰。反之在高堂大厦和园囿亭榭，因古琴本身的声音很小，在还没有传达到有反射体的时候，声音就消失了，所以周围的环境太空旷，起不到扩大古琴声音的作用，这对现在古琴的演奏具有现实意义。

总之，在戏曲舞台声学上，缺乏对其理论性的总结，但这并没有阻止宋元时期人们对这种实践经验的运用。对乐器弹奏环境的空间声学，已有了理论性的总结，主要是对古琴的认识，已从实践的经验上升到了理论的高度，为后人的做好了铺垫的工作。

3.2 音乐自然科学思维

宋元时期是中国古代文化——儒学文化发展的高峰时期[②]，当古代科技的高峰与文化思想的高峰“撞车时”，势必会发生“化学的反应”。这一时期儒学文化的发展气势更加的宏大，学派众多，先后出现了荆公新学，温公学派，苏氏蜀学、洛学等等，北宋时期，理学处于初级阶段，到了南宋理学发展迅猛，出现了二程和朱熹的理学，在认识论方面他们提倡“穷理尽性之学”。二程的“格物致知”的认识观，朱熹的“即

① 图片来自：戴念祖. 中国物理学史大系. 声学史. 长沙，湖南教育出版社,2000,379
② 乐爱国：中国传统文化与科技.桂林，广西师范大学出版社, 2000,146

物穷理”的系统方法，理学在当时一统天下，对当时的社会影响很大。怀疑精神、创造精神、内求精神是宋代儒学的基本精神，这些精神直接影响着宋元时期科学家的研究思维和当时科学技术的发展，无疑也影响着音乐科学的思维及其成果的创新。而早在春秋战国的自然观、阴阳五行说，物质观，特别是墨子的科技思想，秦汉时期的“天人感应”等等都对宋元时期音乐自然科学思维产生一定的影响，仍在人们理解自然想象方面起着重要的作用，主要表现在以下几方面：

3.2.1 朴素的唯物主义思想

宋代许多的思想家习惯用阴阳五行学说来解释各种发生在自然界的现象，认为宇宙万事万物的存在和发展，都有它存在的阴阳之法，他们把这一思想也普遍的运用在了音乐中，阴阳概念的产生是人们对向阳和背阴的认识，后来逐渐扩展到阴阳二气，使得这种思维变得越来越抽象化和普遍化，只要世间事物存在着对立和统一，存在着相生相克，都用阴阳来描述。在音乐中，宋元时期继承了这一思维，也用它来解释音乐中的问题，【0105】中说“律吕真声，本阴阳之气”、【0228】“协律郎二人，掌和律吕，以合阴阳之声，阳律六：黄钟子，太簇寅，姑洗辰，蕤宾午，夷则申，无射戌。阴吕六：大吕丑，夹钟卯，仲吕巳，林钟未，南吕酉，应钟亥。”就是最普遍的用阴阳来解释音乐中的律吕。音律学在古代是门很重要的学科，是直接为政治服务的，在秦汉时期就有“律历一体”说，这种观念在宋代也是影响颇深，人们就试图用这种说法来解释这一现象，宋元时期，继承了古人的这一思想不仅用把音律和阴阳二气相结合，而且配以十二地支来相对应。沈括也运用阴阳五行的思维对音律进行了明确的解释，【0301】【0302】六律为阳律，六吕为阴律，在十二地支中，有六个阳纪、六个阴纪，并用此“纳音之法”来解释“钟”、“吕”和音律的相生之法。【0306】沈括的六十甲子纳音法就是用阴阳、天干地支、四时、五行巧妙而全面的解释音律的相生。

在宋元时期，人们对乐器材料的选择、形制的制定上都试图配以阴阳五行观来解释其存在的合理性。①在古琴材料的选择上，宋元时期就对其有阴阳材的说法，并把它运用到指导实践中，可见对阴阳学说的认识高度，从【0401】看出宋人斫琴上取桐木（阳），下取梓木（阴），以桐之柔配梓之刚，以材之阴阳相合音之刚柔相济，“此乃灵物与造化同机缄，非他物比也。”②《宋史·乐四》【0128】载：“并造十三簧者，以象闰余。十者，土之成数；三者，木之生数，木得土而能生也。九簧者，以象九星。物得阳而生，九者，阳数之极也。七簧者，以象七星。笙之形若鸟敛翼，鸟，火禽，火数七也。”《乐书》【0507】宋人就把古琴的全长和一年的天数相应，五弦与五行相应，腰广四寸与四时相应，十三徽与十二律相应，另一徽以象闰月。可见当时阴阳五

行的思维对乐器形制也有一定的影响。

朴素的唯物主义对宋元的音乐文化有颇深的影响，影响着音乐思维的方式；对乐器制造的影响是双方面的，一方面促使某些乐器的形制可以确定下来，另一方面，为了简单的迎合这种自然观念的思想，出现了很多不适用的乐器，如十二弦琴，就是在常规琴制的基础上增加弦数，“皆像律吕之数”，类似这样的弦乐器还有很多，其他类乐器也有。就音乐表达而言，这些构造相似的乐器，表演的性能相近，不具备独立的表演意义，造成极大的浪费。这也是音乐思维带来的消极的一面。

3.2.2 求实的研究观念

一个人所处的文化环境和其具有的思维模式对其著作的形成，成果的发明，问题的解决，起着至关重要的作用。如果这个时期的思想是愚昧的，那么在科技上的创作很可能是微乎其微的，宋元时期能取得如此高水平的成就，与其思想的解放，和追求“至理”的精神是分不开的。

在宋元时期，科学技术的发展的如此繁盛与当时程朱等的理性主义哲学思想的大兴有着很大的关系，这为当时科学的发展提供了良好的思想观念的环境。他们承认现实世界客观存在，并强调天下万物都有其存在的“理”，朱熹所说的“理”是指各事物不同的理，然后才能把这些“理”上升为“一理”这种上升的过程是要有一个积累和分析的过程，必须研究具体的自然之物。宋代科技的发展已经不仅仅局限于探求其表面的道理和实用的价值，而是在对以往自然现象进行描述的基础上，开始探求其本质的、更深层的东西，这就必然表现为对“自然之理”的追求。最具代表性的当属沈括，沈括在探讨管弦共振【0311】时说“以管色奏双调，琵琶弦辄有声应之，奏他调则不应，宝之以为异物。殊不知此乃常理。……人见其应，则以为怪，此常理耳。此声学至要妙处也。今人不知此理，故不能极天地至和之声。”这里所说的“常理”是管色与琵琶在频率差不多时会有“相应”出现，这是自然界内部的联系。沈括亦能用“常理”来认识到它。在说到制磬【0314】时“石无大小，有韵处亦不过十三，犹弦之有十三泛声也。此天地至理，人不能以毫厘损益其间”的“至理”，还说到金石乐器各自的属性【0315】时“律法既亡，金石又不足恃，则声不得不流，亦自然之理也”的“自然之理” 都是沈括对自然界万物的内部规律探索的发现，有其客观的实在性。可以看出沈括非常注重自然现象的观察，更注重从现有的自然现象中追求自然之理，进一步把握现象背后的自然规律，把现象上升到本质的“理”。

还有一种精神对宋元时期的音乐观念也具有较大的影响，那就是对事物的“怀

疑”的精神，这种精神是对前人的认识和看法、对现在已存在的事实不盲目的接受和相信，而是对其提出疑问，并通过自己的亲身实践和实验来解决这些实际中存在的问题。“怀疑”是进步的起点，因而大凡有成就的学者都具有强烈的怀疑精神[①]。怀疑是进行科学发现的第一步，没有怀疑就没有对旧观念和旧思想的突破，就没有对新观念的追求。怀疑精神在宋元时期的兴起，是一个积极的观念，是各个门类科技发展的首动力。音乐科技的许多新的现象和创新正是基于此思想上，才向自然现象的本质进行探索。如沈括为了解释琴弦共振的现象，做了纸游码共振的演示实验，“先调诸弦令声和，乃剪纸人加弦上，鼓其应弦，则纸人跃，他弦即动。声律高下苟同，虽在他琴鼓之，应弦亦震，此之谓正声。”。正是他对共振现象的“怀疑”，才促使他向用实验来更好的解释其中的奥妙，从而成为第一个通过实验的演示证实共振现象的人。怀疑精神是宋元儒家的基本精神，正是由于这一精神的存在，使得当时音乐的诸多分支领域有所发现，并对问题提出了科学的解决。

3.3 乐器工艺学

乐器是对社会生活环境的直接反应，宋元时期的乐器无论在数量上还是在品种上都比前代有了很大的增长，据统计，宋代的乐器有三百多种，俗乐的乐器得到了大量的发展，占到的当时乐器总量的一半多，如鼓类乐器、竹类乐器的增加。这与当时音乐生活中心的转移，音乐欣赏者群体的变化，音乐审美观的转变有很大的关系。随着生产力和商品经济的发展，市民阶层的力量逐渐壮大，人们的娱乐活动也越来越丰富，出现了许多新的音乐体裁形式，如：宋词、元散曲、鼓子词、诸宫调、宋元杂剧。器乐音乐也出现了欣欣向荣的局面，出现了各种器乐合奏的形式，有“细乐”、“清乐”、“小乐器”、“鼓板”等，乐器作为人们从事音乐活动的物质载体，也随之得到了长足的发展[②]。

从第二章整理的史料看，乐器制造占了很大的篇幅，共有 88 条。其中大部分是关于描写各种乐器形制和面相的。这一部分是对乐器静态的科技研究，试图从文献中对其背后的加工工艺有一个窥探。乐器的制造是一项复杂的过程，其中乐器材料的选择、乐器材料的加工，对其实用的效果起着至关重要的作用，而装饰的部分不仅侧面体现了工艺科技，而且反映了当时的审美观念的提高。

3.3.1 材料的选择

乐器材料的选择直接关系到乐器的外观、声音及其使用的年限。在宋元时期人

[①] 席泽宗 .中国科学技术史·科学思想卷. 北京,科学出版社,2001. 419

[②] 王秀萍.宋代乐器研究.河南大学 2004 届研究生硕士学位论文.

们已经认识到不同的乐器因其制作的材料不同，所发的声音也大有不同。《宋史》乐三载：盖金声春容，失之则重；石声温润，失之则轻；土声函胡，失之则下；竹声清越，失之则高；丝声纤微，失之则细；革声隆大，失之则洪；匏声丛聚，失之则长；木声无余，失之则短。不仅对各种材料的乐器所发的声音进行了描述，而且对每种材料的不足之处进行详细的品论。虽然只是主观的判断，但是已经认识到不同的物质具有不同的属性这一特点。这就对更好的选择乐器材料提供了指导的作用。

古人从古就有“循声选材”的说法，在宋元的乐器制造中也确实体现了这一点，乐器材料的选择体现出较高的科学技术水平，这也是实用性很强的一门技术，因为不同的材料在传声效果上是不同的，就古琴的选材而言，音箱材质的选择是非常重要，一般都以桐木为佳，但桐木的选择又颇为讲究，《梦溪笔谈》写道“琴材欲轻、松、脆、滑，谓之四善。”就是说琴的材料应具有轻、松、脆、滑四个基本的特点。而且选择的桐木要等“木液去尽，紫色透里，全无白色，更加细密，方称良材”。“琴虽用桐，然须多年木性都尽，声始发越。予曾见唐初路氏琴，木皆枯朽，殆不胜指，而其声愈清。又尝见越人陶道真畜一张越琴，传云古冢中败棺杉木也，声极劲挺。”等史料都记录了对选择何种木材做琴的要求。对桐木纹理也有讲究，桐木不应该的“理疏”，这样的桐木做琴，则声音“多泛而虚”，要选择纹理细密的。

对琴底木材的选择也有记载，赵希鹄《洞天清录集》中说到“今人多择面不择底。……法当取五七百年旧梓木，锯开以指甲掐之，坚不可入者方是”。赵希鹄还就琴材的阴阳面对琴声的影响做了分析，“古琴阴阳材者：蓋桐木面阳日照者为阳，不面日者为阴。如不信，但取新旧桐木置之水上，阳面浮之阴必沈，虽反复之再三，不易也。更有一验，古今琴士所未尝言“阳材琴：旦浊而暮清，晴浊而雨清，阴材琴：旦清而暮浊，晴清而雨浊”。此乃灵物与造化同机缄，非他物比也。”在这里赵希鹄对阴阳面的琴材做了实验，“阳面浮”而“阴面沉”，这与物理学中的密度问题，因阴面的树木接受阳光的照射少于阳面，故其纹理较细，所以密度较大，故沉之。宋人已注意到同一木材阴阳面音品的不同，同一木材的同一面在“旦”、“暮”之间的音品的不同。他还论述了“纯阳琴”的不足之处“取其暮夜阴雨之际，声不沈默必不能達，遠蓋声不实也”。

在琴足材料的选择上，赵希鹄认为“琴足宜用枣心、黄杨、及乌木，蓋取其坚实。……岳轸、焦尾亦宜用此三等，木切不可以金、玉、犀、象为饰，多诲盗并为琴害矣”。知道琴足在琴声传声中的重要的作用，并对其装饰物予于说明。宋元时，对琴徽材料的选择也有了足够的认识，【0801】有金晖、石晖、玉晖等对其各自的传

声效果也有描述。

宋元时期在其他乐器材料的使用上也颇为讲究，磬石要选择“泗滨灵石壁石”、“磬石莫善于泗滨，……宜取其石以制磬”；笙、匏“皆以斑竹为之”；埙“陶土为之”； 柷敔“以桐木为之”鼓“鞔以马革”“以韦为表”；兴隆笙“制以楠木”；方响“制以铁”；云锣“制以铜”等等记载。宋元时期在乐器材料的选择上也不是一层不变，出现了玉磬等，而这些乐器的出现多数是为了迎合当时的政治，被蒙上了一层神秘的色彩。另宋元时期人们对钟类乐器中金属材料成分的不同对声音的影响也有一定的认识，《宋史》载：“铜锡不精，声韵失美”；“ 若夫金锡之齐与铸金之状率按诸《经》，差之毫厘则声有高下，不可不审。其镈钟亦以此法而四倍之。”

可见在宋元时期，我国的乐器制造材料性质的选取上已经发展到的一定的高度，已经形成了定性的认识。

3.3.2 材料加工工艺

工艺学是将原材料或半成品加工成成品的方法和技术，同时也是研究加工工艺、加工过程与加工方法的科学。[①]乐器的制作工艺带着当时代的烙印，也是对当时科学技术的反映。

首先在确定乐器的形制，宋元时期已到达成熟的地步。在宋代由于编钟铸造技术的失传，出现了对编钟形制的大争论，后来确定为“乐钟皆扁如合瓦”。又《宋史》载“是故于、鼓、钲、舞、篆、景、栾、队、甬、衡、旋虫，钟之文也，著于外者也；广、长、空径、厚、薄、大、小，钟之数也，起于内者也。”对钟的各部件及其形制对声音的影响也有了充分的认识。在古琴各部件的尺寸上也很是明确，《元史》载“琴……长三尺九寸。首阔五寸二分，通足中高二寸七分，旁各高二寸；尾阔四寸一分，通足中高二寸，旁各高一寸五分。”又载：“瑟……首阔尺有一寸九分，通足中高四寸，旁各高三寸；尾阔尺有一寸七分，通足中高五寸，旁各高三寸五分。”、“笛,长尺有四寸”、“埙，围五寸半，长三寸四分”，等。在宋代钟的形制上有扁圆形钟和圆形钟两种，从沈括《补笔谈》卷一乐律【0316】中可以看出沈括所处的北宋时期的钟多为圆形的形制，圆形的钟为单件钟，而扁圆形的钟为编钟。人们已清晰的认识到乐器的结构及尺寸是其功能的基础，这也是对实践经验的总结。

其次是乐器的装饰上，乐器装饰的不同体现了不同的审美观念，也决定了乐器的品味。宋元时的乐器在漆器上非常的考究，《元史》载：编钟“皆雕绘树羽，涂金双凤五、”、瑟“面施采色，两端绘锦”、搏拊“外髹以朱，绘以绿云”、 柷“绘山于

[①] 百度搜索: http://baike.baidu.com/view/1135242.htm?fr=ala0_1

上，髹以粉”，敔“彩绘为饰”，镈钟“笋虡朱髹、涂金，彩绘飞龙”等，说明我国宋元时期的雕漆技术较前代有了高度的发展，古琴制作的后道工序就是为古琴“穿衣”。漆器的艺术在秦汉时期就已发展很好，到宋元时期又呈现新一轮的高峰。这从宋元的传世之作中就可见其非同一般，虽历经千百年漆层大都坚固完整，而清时期的乐器有的已不能下指，主要是由于髹漆的工艺不同所导致，在【0403】中就有对髹漆工艺的描述，在漆的配料上是很有讲究的，用鹿角霜配以金铜细屑或磁器屑，要涂的薄如纸，等其干透后，在上一次漆，过后在用极细的骨灰再在琴上髹一次，要“止一上并一月方干”。这样的技术“岂俗工所能哉”。在装饰品的选择上也追求更加的精细，不仅讲究美观，还讲究其实用的价值。宋元时期善弹琴的人很多，宋徽宗时更是善琴者的代表，文人、僧人阶层也多有弹琴的爱好，这些琴家的出现不仅促进了古琴音乐的进步，更为古琴的制作技术的提升起到了推波助澜的功效。使古琴的加工工艺更加精良，漆的材料配比上也越来越精细，髹漆的工序也异常讲究，这些都带动了制琴技术的进一步发展，宋元时期面对蓬勃发展的各种音乐艺术，当时的人们采取积极的态度，积极改进乐器的性能，不仅大大丰富了乐器的品种，扩大了乐器的使用范围，而且推动了乐器工艺技术的提高，可以看出宋元乐器的发展与科学技术两者的关系表现是很密切的。

3.4 音乐数学

在我国的先秦时期的先人们就尝试用数来解决和记录有关音乐方面的问题，特别体现在对律的求证上，宋元时期数学的发展在传统数学的发展过程中，是一个登峰造极的新阶段，这就为宋元时期律的求证提供了良好的理论基础和学术环境。

黄钟是我国十二律的律名之一，它的音高到底是多高，一直是历代乐律学者争论不休的话题，而确定黄钟律度的工具是中国古代特有的一种“律尺”[①]，而这种律管的长度是由累黍来作为标准的。律尺的长短就决定了黄钟的音高，黄钟的律长一旦确定，其音高也就确定了，然后用三分损益法上下相生求出其他各律的律长，这是要通过周密的计算才能得出的。《宋史》曰：“古圣设法，先立尺寸，作为律吕，三分损益，上下相生，取合真音，谓之形器。但以尺寸长短非书可传，故累秬黍求为准的，后代试之，或不符会。”但由于“黍”的长短大小形制各不一致，所以历代黄钟的律长都各不一样，也很不客观。宋代就因为这一问题意见的不统一，出现了六次改乐。各律音高的结果的得出，正是依赖于熟练的数学计算。在《梦溪笔谈》

[①] 童忠良.音乐与数学.北京,人民音乐出版社,1993. 53

中【0312】【0320】，沈括对律数的求得也有记载，并还通过计算纠正了《史记律书》中的传抄错误，他采用了三分损益法，以长度来计算律管的方法。运算的方法是：以黄种律管的长度为九，按照文中的“三分损一”、“三分益一”来运算，得出结果，把十二律按管长的长短顺序排列，即是黄钟、大吕、太簇、夹钟、姑洗、仲吕、蕤宾、林钟、夷则、南吕、无射、应钟。可以从中得出这一数列近似于几何数列，可见沈括的三分损益法是比较合理的音节划分。

在宋代律学中又有了一个新的成就，那就是蔡元定的十八律，蔡元定是南宋的理学家和律学家，他认为自古以来在三分损益的基础上求得的十二律不能“旋相为宫”，京房六十律又求的太多，而何承天的新律其所求之律初黄钟外，其他各律均不符合三分损益法，所以他在十二律的基础上又求的六律，谓之“变律”，此乃首创。《宋史·乐志》记载：“十二律各自为宫，以生五声二变。其黄钟、林钟、太簇、南吕、姑洗、应钟六律，则能具足。至蕤宾、大吕、夷则、夹钟、无射、仲吕六律，则取黄钟、林钟、太簇、南吕、姑洗、应钟六律之声，少下，不和，故有变律。律之当变者有六：黄钟、林钟、太簇、南吕、姑洗、应钟。变律者，其声近正律而少高于正律，然后洪纤、高下不相夺伦。变律非正律，故不为宫。”十二律每律可以为宫，而变律不为宫，变律的作用是补足十二律旋宫时音程结构的不统一，在理论上解决了旋宫转调的问题。旋宫的结果是：黄钟、林钟、太簇、南吕、姑洗、应钟六律都不用变律的调整，“能具足”而后六律就得有变律的补足，虽然十八律在算法上没有新的突破，但变律只有六个体现了蔡元定数学计算的精确和周全的考虑。综上所述，宋元时期的数学取得了巨大的成就，为音乐的发展提供了良好的环境，但从史料的整理和研究来看，音乐数学运算的主要算法还是以前代的“三分损益法”为主，新的数学逻辑运算还没有得到很好的运用，但是为后期音乐数学的发展做了铺垫。

3.5 音乐力学

宋元时期在音乐力学的运用上，主要体现对乐器演奏时作用力的掌握上，从史料的整理看，器乐演奏家在表演技巧方面的资料比较少，这就对总结当时音乐力学的成就有一定的阻力。笔者收集到关于这音乐力学的史料有三条。试从其中窥探出当时力学（动力学）对音乐演奏技术和音乐感情的表达关系。

在宋元时期古琴已发展到成熟的阶段，出现了一弦琴、三弦琴、五弦琴等弦数不等的琴，伴随着北宋调子（琴歌）的盛行，古琴的演奏技术和流派风格有着显著

的发展，促进古琴演奏技法的发展，并从实践上升到了理论，反向又对实践起到指导的作用。这一时期出现了许多的琴论的专著有朱长文的《琴史》、崔尊度的《琴笺》、刘藉的《琴议》、陈敏子的《琴律发微》等。宋陈旸在其音乐百科著作《乐书·琴声论》【0518】中就记载到：至於取声之法，又有木有汎，有散有末，有剔有栎，有擘有绰，有缩有龊，有伦以总之，诚去四清二变，以谐音律，则琴音调而天下治矣。认为琴可以发出各种各样的声音，并详细指出了其应用的力度手法、入弦的角度，会导致不同琴弦发出不同的声音。力度手法方面有“微按弦、击弦、打声、不按不击弦、打声、剔等”，入弦的角度有“抑蹙向前後，向下末，向上剔，向下剔等”。从现在的研究看，乐器的音色，除了取决于乐器激励体的材料，还取决与对乐器的激励方式的不同，所以对弦做不同的功，及做功的角度的不同，都会对其发出的音色有影响，宋人已充分的领悟到“举指有浅深，用气有轻重。如笙箫则全在用气，弦声只在抑按”的这样的力学道理。并且把它和表达音乐情感联系在了一起，【1301】曰“指法遒劲则失于太过，懦弱则失之不及，……取声忌用意太过，太过则失真，操者亦不觉，惟旁观者乃知。”弹琴太用力，则发出的声音就超出了所要表达感情的范围，而用力不够也是不可以的，那样也达不到所要的效果。宋元时期的人们对古琴的力学在演奏中的认识已有一定的深度。

结 语

音乐科技是一门新的学术领域，受到了科学技术界的极大的重视，从曾侯乙墓编钟和贾湖骨笛的研究情况看，都有科学技术领域的人士参加，而且研究成果突出，在中国科学技术史上，也把音乐科技取得的成果列于显著的位置，但是，对于音乐科学技术研究向纵深的发展，音乐界和音乐学者应当给予高度的重视，积极从事这个特别研究领域的研究工作，与科学技术界联手攻关，是责无旁贷的任务。

本文以宋元时期音乐科技史料为主要研究对象，对其进行了分类统计及分析，本文在研究上的认识性成果主要有以下几个方面。

一、宋元时期在音乐声学上取得了重大的进展，主要分三方面内容进行论述，

1、乐器声学上，从乐器发声原理方面主要得出宋元人们对弦的长短、粗细对弦频率的影响上有足够的认识，并具体的运用到了实践中。朱熹第一次提出了“琴律说”，利用弦分节振动的原理，对古琴进行安徽的指导，虽然某些方面存在着不足，但可以看出其中表现出的科技元素。对板振动和管振动上的科学技术的运用也很明显，阮逸等利用数学和物理学准确的计算出十六支律管的管径和管长的数据。但对钟类乐器的制作上还没用定性和准确的认识，处于探索的阶段。对声学领域的一个重要的现象共振有足够的认识，沈括利用这一音乐科技的成果成功的解释了友人家的奇特事件，并第一次运用实验演示的方法反过来解释了共振。可以说沈括是第一个把自然科学运用于音乐艺术的人。

2、空间声学，宋元戏曲的发展促使戏台的设计更加的科学化，同时对古琴演奏的环境提出了具体的要求，可以认为宋元时期对空间声学的利用和认识处于理论向实践升华的阶段。

3、歌唱声学，从史料来看宋元时期对歌唱技巧的掌握已有了高度和深层次的认识。主要体现在咬字行腔、发声法、呼吸方法的科学认识上。

二、音乐自然科学思维，宋元时期对音乐事物的认识具有朴素的唯物思想，用阴阳五行，“气”的物质观来解释音乐理论，对乐器材料的选择和形制的确定上都受其影响。科学的研究方法和思维方式是一个时代进步的保障，宋元时期儒学的复兴和理学的大兴，使让人们在认识事物时不仅要“知其然”，更要“之其所以然”，万事讲求要“理”，正是这股开放的思潮促使音乐科学的发展。

三、音乐数学，数理知识对宋元的律学有直接的影响，对律管、律尺的计算与黄钟音高的转换以及蔡元定十八律的成果，无不体现了其在音乐中的作用。

四、在音乐力学上，宋元时期对古琴乐器在演奏时，通过改变弹奏力度和入弦角度来改变古琴的音色这方面有了准确的把握，可见宋元人们对演奏中的力学有了一定的研究。

五、由于宋元时期音乐艺术的转型，使雅乐乐器和俗乐乐器都存在不同程度的发展，其中雅乐乐器更多的被蒙上了神秘的色彩，在形制的确定上，更多的追求神秘，而实用的功能减弱，有向畸形发展的趋势。俗乐乐器则更加的深入民间。由于手工业和商业的发展，人们的审美要求也越来越高，促使乐器的外观向更精美的方向发展，同时推动了科学技术的相关领域如材料化学等的发展。

从对宋元时期音乐科技史料的研究得出结论：在宋元学术思想开放的环境下，音乐艺术和科学技术之间的关系非常之密切，音乐艺术中包含有科学技术的成分，促使其向更深发展，科学技术的成果也直接或间接的促进音乐艺术的发展，使其具有新的态势。宋元社会是音乐艺术的转型时期，音乐的形态已由宫廷音乐转向了世俗音乐，音乐的表演场合从宫廷走向了民间，同时还产生了许多新的体裁，如戏曲、说唱、器乐等，宋元时期音乐科学技术的发展对于宋元以后民族乐队的健全和发展，音乐理论的发展等都具有重要的推进作用。可以看出，对于中国音乐科技的研究，不仅要从音乐文化中发掘科技的史料，更要把这些史料放回到当时的科技中进行考察，深入研究他们之间的关系，解释科技与文化的相关性。提高我们对音乐与大自然之间关系的认识，促进音乐艺术的创新。

参考文献

[1] 韩宝强.音的历程——现代音乐声学导论.北京,中国文联出版社,2003.

[2] 童忠良、王忠人、王斌清.音乐与数学.北京,人民音乐出版社,1993.

[3] 中国大百科全书·音乐舞蹈卷.中国大百科全书出版社,1986.

[4] 中国艺术研究院音乐研究所、《中国音乐辞典》编辑部.中国音乐辞典.北京,人民音乐出版社,1985.

[5] 戴念祖、老亮.中国物理学史大系·力学史.长沙,湖南教育出版社,2000.

[6] 戴念祖.中国物理学史大系·声学史.长沙,湖南教育出版社,2000.

[7] 陈玲.中国骨笛科技鼎盛时期的前朝积淀.自然辨证法通讯,2008,1.

[8] 李约瑟.中国科学技术史.第一卷导论.上海,科学出版社.上海古籍出版社，1990.

[9] 刘洪涛.中国古代科技史.天津,南开大学出版社,1991.

[10] 吴文俊.中国数学史大系·第五卷·两宋.北京,北京师范大学出版社,2000.

[11] 国学备要.中国国学时代文化传播有限公司.

[12] 胡道静.梦溪笔谈校正.上海,古典文学出版社,1957

[13] 中央民族学院艺术系文艺理论组.《梦溪笔谈》音乐部分注释.北京,人民音乐出版社,1979.

[14] 文渊阁四库全书本.台湾商务印书馆发行.

[15] 修海林.中国古代音乐史料集. 西安,世界图书出版社西安公司,2000.

[16] 傅惜华.古典戏曲声乐论著丛书.北京,音乐出版社,1962.

[17] 李玫.东西方乐律学研究及发展历程.北京,中央音乐学院出版社,2006.

[18] 乐爱国.中国传统文化与科技.桂林,广西师范大学出版社,2006.

[19] 席泽宗.中国科学技术史·科学思想卷.北京,科学出版社,2001.

[20] 王秀萍.宋代乐器研究.河南大学 2004 届研究生硕士学位论文.

[21] 杜石然、范楚玉、陈美东、金秋鹏、周世德、曹婉如.中国科学技术史稿（下册）.北京,科学出版社,1982.

[22] 廖奔、刘彦君.中国戏曲发展简史.太原,山西教育出版社,2006.

[23] 吴南熏.律学会通.北京,科学出版社,1964.

[24] 方宝璋、郑俊晖.中国音乐文献学.福州,福建教育出版社,2006.

[25] 杨文衡、杜石然、陈美东、金秋鹏、廖育群.中国科技史话.北京,中国科学技术出版社,1990.

[26] 杨荫浏.中国古代音乐史稿上下册. 北京,人民音乐出版社,1981.

[27] 刘莎.乐器学研究的相关学科. 天津音乐学院学报（天籁）,2002,3

[28] 修海林.古代声乐演唱理论拾穗.中国音乐,1988,2.

[29] 沈冬.蔡元定十八律理论新探上.音乐艺术,2003,1.

[30] 沈冬.蔡元定十八律理论新探下.音乐艺术,2003,3.

[31] 冷天吉.程朱理学对宋明时期科技发展的影响.河南师范大学学报（哲学社会科学版）,1995,第 22 卷,4 期.

[32] 乔科昌、陈四海.漫谈沈括对音乐的研究.聊城师范学院学报(哲学社会科学版)，1994,4

[33] 洪建生.析燕南芝庵《唱论》的音乐思想.集美大学学报（哲学社会科学版），2007,4

[34] 李西林.试论中国古代音乐思想的认识论意识与自然科学精神.交响—西安音乐学院学报,1991,1.

[35] 张莺燕.宋代唱论歌诀研究.黄钟—武汉音乐学院学报,2006,1.

附　录

宋元时期音乐科技史料分类统计表

涉及的学科领域	文献出处			总计条数
	书名代码	文献代码	条数	
音乐声学	【01】	【0103】【0119】【0121】【0125】【0128】【0132】【0133】【0143】【0144】【0145】	10 条	41 条
	【03】	【0303】【0304】【0310】【0311】【0314】【0315】【0316】【0317】【0319】	9 条	
	【04】	【0406】【0416】【0419】	3 条	
	【05】	【0503】【0508】【0509】	3 条	
	【06】	【0601】【0602】	2 条	
	【07】	【0701】【0702】【0703】【0704】【0705】【0706】【0707】	7 条	
	【08】	【0802】【0803】	2 条	
	【09】	【0901】	1 条	
	【10】	【1001】	1 条	
	【12】	【1201】	1 条	
	【14】	【1401】【1402】	2 条	
音乐数学	【01】	【0101】【0106】【0107】【0108】【0109】【0110】【0111】【0138】【0139】【0140】	10 条	13 条
	【03】	【0302】【0312】【0320】	3 条	
音乐力学	【03】	【0316】	1 条	3 条
	【05】	【0518】	1 条	
	【13】	【1301】	1 条	
音乐思维	【01】	【0102】【0104】【0105】【0128】【0134】【0135】【0136】【0137】	8 条	24 条
	【02】	【0228】	1 条	
	【03】	【0301】【0302】【0305】【0306】【0308】【0313】【0315】	7 条	
	【04】	【0401】	1 条	
	【05】	【0502】【0507】【0510】【0511】【0515】	5 条	
	【15】	【1501】【1502】	2 条	
乐器制造	【01】	【0112】【0113】【0114】【0115】【0116】【0117】【0118】【0120】【0123】【0124】【0126】【0127】【0129】【0130】【0131】【0141】【0142】	17 条	88 条
	【02】	【0201】【0202】【0203】【0204】0205】【0206】【0207】【0208】【0209】【0210】【0212】【0213】【0214】【0215】【0216】【0217】【0218】【0219】【0220】【0221】【0222】【0223】【0224】【0225】【0226】【0227】【0229】【0230】【0231】【0232】【0233】【0234】【0235】【0236】【0237】【0238】【0239】【0240】【0242】【0243】【0244】【0245】	42 条	
	【03】	【0307】【0309】【0316】	3 条	
	【04】	【0401】【0402】【0403】【0404】【0405】【0407】【0408】【0409】【0410】【0411】【0412】【0413】【0414】【0415】	14 条	
	【05】	【0501】【0504】【0505】【0506】【0507】【0512】【0513】【0514】【0516】【0517】	10 条	
	【08】	【0801】	1 条	
	【11】	【1101】	1 条	

攻读学位期间取得的研究成果

[1] 段晋芳.浅谈科学技术与音乐艺术.中共山西省委党校学报,2009,12.

致 谢

时光犹如白驹过隙，转瞬即逝，初入研究生校门时的兴奋和莫名的激动已经如同那蜿蜒流动的小溪一般，早已缓缓的流入了记忆的脑海中，如今三年的研究生学习生涯已至尾声，站在毕业的门槛上，此时的我心中满怀的有着如同每个人都一样的即将步入社会的渴望，但是更多的是深深的感激，感激这三年多来给予我最大的帮助和关爱的老师，同学和朋友，感激他们一路以来对我无微不至的关心和照顾，在此我谨向所有关心、爱护、帮助我的人们表示最诚挚的感谢与最美好的祝愿。

我的论文是在我最敬爱的导师高兴教授的悉心指导下顺利完成的。细细想来，我最大的幸运是能够得到高兴教授的耳提面命，授业解惑。这三年来，高老师渊博的专业知识，严谨的治学态度，精益求精的工作作风，诲人不倦的高尚师德，朴实无华、平易近人的人格魅力这一笔一笔都是人生极为宝贵的财富，不仅在学业上使我收获良多，更是在做人为师上令我终生受益无穷，我的论文从选题到收集资料再到完成写作，每一步都倾注了高老师大量的心血，在此我向高老师致以我最崇敬的谢意和祝福。

本论文的完成同样离不开其他的各位老师和本专业的同学，朋友们的关心和帮助，感谢王亮老师，赵海英老师等，在平日的学习中他们渊博的学识和教习令我受益匪浅，感谢陈晓琴，朱莹，石婷等本专业同学在我收集资料和写作过程中给予我的许多鼓励和帮助。

最后我要感谢家人在我求学生涯中给与我无微不至的关怀和照顾，一直都是默默而坚定的支持我、鼓励我，给予我最大的精神支持,成为我完成学业的坚强后盾，另外还要感谢张乾同学三年来对我的爱护、包容和帮助。

正是由于以上的鼓励和鞭策,使我能够顺利完成自己的学习任务和学位论文.谨以此文献给所有关心和帮助过我的老师,同学,朋友,以及养育我的,始终关心支持我的父母和家人。

个人简况及联系方式

个人简况：

姓　　名：段晋芳

性　　别：女

籍　　贯：山西省太谷县

个人简历：2002 年 9 月至 2006 年 7 月，就读于山西师范大学音乐学院；

2007 年 7 月至 2010 年 7 月就读于山西大学音乐学院，攻读硕士学位，师从高兴教授，研究方向为中国音乐史专业。

联系方式：

电子信箱：

承 诺 书

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是在导师指导下独立完成的，学位论文的知识产权属于山西大学。如果今后以其他单位名义发表与在读期间学位论文相关的内容，将承担法律责任。除文中已经注明引用的文献资料外，本学位论文不包括任何其他个人或集体已经发表或撰写过的成果。

作者签名：段晋芳

2010年6月10日

学位论文使用授权声明

本人完全了解山西大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关机关或机构送交论文的复印件和电子文档，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等手段保存、汇编学位论文。同意山西大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播论文的全部或部分内容。

保密的学位论文在解密后遵守此协议。

作者签名：

导师签名：

2010年6月10日